



Escuela  
Politécnica  
Superior

# La cubierta verde como mejora del comportamiento energético en Alicante.



Grado en Arquitectura Técnica

## Trabajo fin de Grado

Autor:

Alba Íñigo Cruz

Tutor:

Encarnación García González

Julio 2017



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante



## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN</b>	7
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	10
<b>3. OBJETIVOS</b>	12
<b>4. METODOLOGÍA</b>	14
<b>5. TIPOLOGÍA DE CUBIERTAS VERDES</b>	15
5.1. IDENTIFICACIÓN DE LA CUBIERTA VERDE	16
5.2. CLASIFICACIÓN	18
5.2.1. Cubiertas extensivas	18
5.2.2. Cubiertas semiintensivas	20
5.2.3. Cubiertas intensivas	22
5.3. CARACTERÍSTICAS	25
5.3.1. Vegetación	26
5.3.2. Sustrato	30
5.4. COMPOSICIÓN DE LA CUBIERTA VERDE	33
5.4.1. Formación de pendientes	36
5.4.2. Impermeabilización	39
5.4.3. Aislamiento térmico	48
5.4.4. Capa antipunzonante	49
5.4.5. Capa drenante	50
5.4.6. Capa filtrante	51
5.4.7. Sustrato	51
5.4.8. Vegetación	52
5.5. FUNCIONES Y BENEFICIOS	53
5.5.1. Ambientales	53
5.5.2. En la edificación	56
5.5.3. Sociales	62

<b>6. CRITERIOS DE SELECCIÓN. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DE UNA CUBIERTA VERDE .....</b>	<b>64</b>
6.1. INERCIA TÉRMICA .....	64
6.2. FLUJOS DE CALOR .....	65
6.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN DE LAS PLANTAS .....	71
6.4. CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS .....	73
 <b>7. PROPUESTA DE UN SISTEMA DE CUBIERTA VERDE PARA LA PROVINCIA DE ALICANTE .....</b>	<b>78</b>
7.1. SISTEMAS DE CUBIERTAS VERDES.....	78
7.3. VEGETACIÓN .....	80
7.3.1. Plantas para cubiertas extensivas .....	81
7.3.2. Plantas para cubiertas semiintensivas .....	85
 <b>8. ESTUDIO COMPARATIVO .....</b>	<b>88</b>
8.1. CÁLCULO DE LA TRANSMITANCIA TÉRMICA DE DISTINTOS TIPOS DE CUBIERTAS VERDES, CON DIFERENTES ESPESORES DE SUSTRATO .....	89
8.1.1. Extensiva .....	93
8.1.2. Semiintensiva .....	95
8.1.3. Semiintensiva (sin capa de aislamiento térmico) .....	98
8.1.4. Intensiva .....	101
8.1.5. Análisis de resultados y propuesta de selección .....	105
8.2. CÁLCULO DE LA TRANSMITANCIA TÉRMICA DE OTROS TIPOS DE CUBIERTA PLANA MÁS TRADICIONALES USADOS EN LA PROVINCIA .....	108
8.2.1. Cubierta invertida no transitable con acabado de grava .....	108
8.2.2. Cubierta invertida transitable con pavimento adherido.....	112
8.3. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS .....	117
 <b>9. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS .....</b>	<b>118</b>
 <b>10. CONCLUSIONES .....</b>	<b>119</b>
Futuras líneas de trabajo .....	121
 <b>11. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>122</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 5.1: Cubiertas verdes del centro comercial Namba park (Osaka, Japón.....	15
Fig. 5.2: Capas que conforman una cubierta vegetal .....	16
Fig. 5.3: Capas de formación de la cubierta extensiva .....	19
Fig. 5.4: Cubierta extensiva.....	20
Fig. 5.5: Capas de formación de la cubierta semiintensiva .....	21
Fig. 5.6: Cubierta semiintensiva.....	22
Fig. 5.7: Capas de formación de la cubierta intensiva .....	23
Fig. 5.8: Cubierta intensiva .....	24
Fig. 5.9: Profundidad mínima del sustrato en función de la vegetación y del tipo de cubierta verde .....	32
Fig. 5.10: Esquema composición de una cubierta verde.....	34
Fig. 5.11: Distribución de capas de formación de una cubierta verde .....	36
Fig. 5.12: Adherencia con soplete de lámina impermeable .....	43
Fig. 5.13: Lámina impermeable adherida.....	43
Fig. 5.14: Encuentro con peto o paramento vertical .....	45
Fig. 5.15: Encuentro con claraboya.....	45
Fig. 5.16: Prueba de estanqueidad de una cubierta .....	48
Fig. 5.17: Colocación de lámina drenante .....	50
Fig. 5.18: Lámina antipunzonante.....	51
Fig. 5.19: Perfil de una isla de calor urbano.....	55
Fig. 5.20: Máxima variación de temperatura en una cubierta no ajardinada.....	58
Fig. 5.21: Máxima variación de temperatura en una cubierta ajardinada .....	59
Fig. 5.22: Comparación de un desagüe pluvial, de cubierta verde con sustrato de 10cm de espesor, con cubierta plana con grava.....	60
Fig. 6.1: Temperatura bajo el sustrato en verano.....	67
Fig. 6.2: Temperatura bajo el sustrato en invierno .....	67
Fig. 6.3: Uso de la radiación solar recibida por las plantas .....	70
Fig. 6.4: Imagen térmica de un jardín vertical junto a fachada de ladrillo caravista. ...	72
Fig. 6.5: Imagen térmica de la fachada de ladrillo caravista de la biblioteca de la Universidad de Alicante .....	72
Fig. 6.6: Climograma de Alicante .....	66
Fig. 7.1: Aloe maculata.....	81
Fig. 7.2: Aloe variegata .....	81
Fig. 7.3: Aloe mitriformis .....	81
Fig. 7.4: Aloe x spinosissima .....	81
Fig. 7.5: Sedum sediforme .....	82
Fig. 7.6: Sempervivum tectorum.....	82
Fig. 7.7: Crassula multicava .....	82

Fig. 7.8: Gasteria .....	82
Fig. 7.9: Menta .....	83
Fig. 7.10: Melisa .....	83
Fig. 7.11: Orégano .....	83
Fig. 7.12: Dicliptera suberecta .....	83
Fig. 7.13: Esparraguera .....	83
Fig. 7.14: Lotus cytisoides.....	84
Fig. 7.15: Clavel.....	84
Fig. 7.16: Petunias .....	84
Fig. 7.17: Verbena .....	84
Fig. 7.18: Romero .....	85
Fig. 7.19: Santolina .....	85
Fig. 7.20: Curry.....	85
Fig. 7.21: Salvia lavandulifolia .....	86
Fig. 7.22: Tomillo .....	86
Fig. 7.23: Brezo .....	86
Fig. 7.24: Teucrium capitatum.....	86
Fig. 7.25: Teucrium x lucidrys .....	86
Fig. 7.26: Lantanas .....	87
 Fig. 8.1: Sección capas de formación cubierta vegetal .....	 90
Fig. 8.2: Sección cubierta plana invertida con protección de grava.....	108
Fig. 8.3: Sección cubierta plana invertida de pavimento.....	112

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5.1: Características de las cubiertas verdes.....	25
Tabla 6.1: Valores climatológicos normales. Alicante (aeropuerto). .....	74
Tabla 6.2: Resumen climatológico de valores extremos .....	74
Tabla 8.1: Tabla de fórmulas.....	89
Tabla 8.2: Capas y espesores de cálculo de cubiertas verdes .....	91
Tabla 8.3: Cálculo de datos fijos de cubiertas verdes.....	92
Tabla 8.4: Cálculo transmitancia térmica cubiertas extensivas.....	93
Tabla 8.5: Cálculo transmitancia térmica cubiertas semiintensivas .....	95
Tabla 8.6: Cálculo transmitancia térmica cubiertas semiintensivas, sin capa aislante ..	98
Tabla 8.7: Cálculo transmitancia térmica cubiertas intensivas.....	101
Tabla 8.8: Cuadro comparativo transmitancia térmica de cubiertas verdes .....	105
Tabla 8.9: Capas y espesores de cálculo cubiertas de grava.....	109
Tabla 8.10: Cálculo de datos fijos cubiertas de grava .....	110
Tabla 8.11: Cálculo de datos cubiertas de grava .....	110
Tabla 8.12: Capas y espesores de cálculo cubiertas de pavimento .....	113
Tabla 8.13: Cálculo de datos fijos cubiertas de pavimento .....	114
Tabla 8.14: Cálculo de datos cubiertas de pavimento .....	114
Tabla 8.15: Cuadro comparativo transmitancia térmica cubierta extensiva, semiintensiva, de grava y de pavimento .....	117

## 1. INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental es un problema mundial que va en aumento. Gran parte esta contaminación que la humanidad genera, es producida por las ciudades. Actualmente las ciudades contribuyen a la contaminación global en una proporción mayor al 75%, y utilizan más del 70% de la energía consumida por la humanidad.(Britto Correa, 2001)

En particular, los edificios de las ciudades donde vivimos, son causantes durante su vida útil de un gran porcentaje del Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) que se vierte a la atmósfera. Este gas (CO<sub>2</sub>), que se acumula en la atmósfera, junto con otros gases, provoca el efecto invernadero y con ello el calentamiento global del planeta.(Carmona, 2012)

Este problema motiva que la sostenibilidad tenga cada vez más importancia en la arquitectura de las ciudades. Para hacer arquitectura sostenible, se trata de construir con la mirada puesta en proteger y preservar el medio ambiente. En general lo que se quiere conseguir con la sostenibilidad en las ciudades, es que los edificios sean eficientes energéticamente, y que sean capaces de disminuir los gases contaminantes generados, mejorar la calidad de vida, y crear ciudades más bellas, naturales y limpias.

Una buena medida de sostenibilidad para las ciudades es la realización de cubiertas verdes en las azoteas de los edificios, ya que este elemento aporta grandes ventajas creando entornos más sostenibles, orientados a recuperar y mejorar la vegetación en las ciudades, aportando ventajas económicas y ecológicas, para las edificaciones y el medio ambiente, a la vez que mejora el valor energético del edificio.

Una gran cantidad de beneficios son los que se obtienen con la aplicación de este tipo de cubiertas en los edificios.



## JUSTIFICACIÓN

La gran acumulación de población en las ciudades y la expansión de las mismas propician la formación de grandes superficies impermeables. Esto afecta a los patrones climáticos, al ciclo del agua, a la biodiversidad y al patrimonio natural.

Si se habla de las edificaciones, la superficie de azoteas que estas crean ocupa, de media a nivel mundial, entre el 15 y el 35% respecto de la superficie urbana de las ciudades. (Samangoeei, 2006)

Un buen elemento para ello son las cubiertas verdes, que aportan una gran cantidad de beneficios para la ciudad, el edificio y el medio ambiente. Estas cubiertas contribuyen con la eficiencia energética de los edificios, mejoran el aislamiento acústico y térmico en su interior y en el exterior, aumentan la vida de las capas de la cubierta, a la vez que se genera menos contaminación a la atmósfera por su buen comportamiento energético, disminuye el efecto isla de calor que sucede en las ciudades por la falta de vegetación, actúan como sumidero de CO<sub>2</sub>, son hábitat para aves e insectos y ayudan a regular el agua de escorrentías que llega a las alcantarillas. (Ibáñez, 2008)

Además estas cubiertas crean espacios útiles en la azotea de los edificios como jardines, lugares de reunión, huertos urbanos... (Gavilanes Albán, 2015)

La gran cantidad de beneficios que estas cubiertas aportan, han motivado a algunos países a aplicar leyes para la implantación de estas cubiertas, con el fin de mejorar el cambio climático. Alemania fue el país pionero en investigar y en implantar este tipo de cubierta en los techos de sus edificios. A partir de aquí muchos países hacen obligatorio con nuevas normativas el uso de cubiertas verdes en sus edificaciones; y otros, fomentan el uso de las cubiertas verdes. Por ejemplo entre estos países destacan Alemania, Canadá, Japón, Suiza, Francia y

Dinamarca entre otros. La finalidad de ello es mejorar el medio ambiente urbano y disminuir la contaminación ambiental. (Ibáñez, 2008)

La idea de este trabajo de fin de grado surge del pensamiento de que tanto las edificaciones como las ciudades pueden estar integrados de buena manera en el medio natural, formando parte de la naturaleza, mediante la utilización generalizada de este tipo de envolvente.

Cada vez son mayores los estudios y el uso de estas cubiertas vegetales, así como la implantación de una normativa para su uso, debido a las aportaciones y beneficios que presentan.

## 2. MARCO TEÓRICO

Diversos estudios realizados de sobre los beneficios que aportan las cubiertas vegetales a los edificios, arrojan datos sobre la disminución del gasto energético respecto a las cubiertas con otro tipo de acabados.

Uno de estos estudios realizado, por María Guadalupe Alpuche, Hugo Moreno, José Manuel Ochoa e Irene Marincic en 2011, en una vivienda mediante la simulación de azoteas verdes, dio como resultado en sus mediciones, y posterior comparativa con una cubierta de pavimento, una disminución del consumo energético del 16 % sobre el consumo total. Esto sucede al generarse menores ganancias de calor a través de la cubierta, disminuyendo la necesidad de utilización de aire acondicionado.

Además se sabe que la vegetación también tiene su aportación, ya que la vegetación de la cubierta actúa como una barrera que capta la radiación solar y evita que las capa inferiores que forman la cubierta se calienten demasiado, y transmitan este sobrecalentamiento al interior de la vivienda (Alpuche, Moreno, Ochoa, & Marincic, 2011)

También se han realizado estudios donde se analiza el comportamiento energético de las cubiertas planas ecológicas, como el trabajo realizado por Celina Britto Correa en 2001, donde concluyó que la cubierta vegetal presentó un mejor comportamiento térmico que las cubiertas tradicionales, sobre todo en verano. Los resultados de los análisis arrojaron que las cubiertas vegetales tuvieron las menores oscilaciones térmicas.

Este buen comportamiento térmico lo adoptan algunas edificaciones para mantener una temperatura constante, como en el caso de la bodega Cellers Can Blau, donde el Grupo Projar realizó una cubierta verde extensiva sobre su azotea, para mantener una temperatura constante en su interior de 21°C, ideal para conservar sus vinos.

Otros estudios se han realizado sobre la reducción de las emisiones de gases contaminantes que estas cubiertas generan, como es el caso del estudio realizado por Elena Basanta Carmona en 2012, que concluye con la disminución del nivel de contaminación en una cubierta vegetal de tipo extensiva, y también concluye que esta disminución es mayor si se emplea una cubierta de tipo intensivo, con mayor espesor de sustrato y vegetación más densa.

De reducciones de contaminación habla también el fundador de Groncol, una empresa que promueve la formación de cubiertas verdes en Colombia, en una entrevista a la CNN en mayo de 2017, donde expone como idea principal que si el 4% de las cubiertas de la ciudad de Bogotá fueran verdes, se limpiaría la contaminación generada por los vehículos.

Además otra publicación realizada en Europapress.es en 2014, expone que un estudio realizado por la Escuela Técnica de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural de la Universidad Politécnica de Valencia, a través de su Departamento de Ingeniería Rural y Agroalimentaria, y la empresa Projar, revela como conclusión principal que las cubiertas verdes tiene gran potencial en el clima mediterráneo, debido a que pueden ahorrar entre un 20 y un 50% del consumo energético necesario para refrigerar el edificio.

La gran cantidad de beneficios que tienen estas cubiertas abarca la sostenibilidad, el ahorro energético-económico y el bien para la sociedad y las ciudades.

### **3. OBJETIVOS**

#### **OBJETIVOS GENERALES**

Identificar y estudiar los sistemas vegetales en las cubiertas de los edificios, y analizar los beneficios que estos aportan en cuanto a mejora del comportamiento energético para regular la temperatura interior de los edificios, proponer sistemas de cubiertas vegetales para la provincia con el fin de mejorar el comportamiento energético de los edificios y analizar la transmitancia térmica de diversos tipos de cubierta ajardinada y no ajardinada.

#### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

-Identificar la existencia aspectos positivos que favorecen el uso de vegetación en las cubiertas de los edificios.

-Describir el proceso constructivo de la cubierta verde.

-Analizar el comportamiento de las cubiertas verdes en cuanto al intercambio de calor por inercia térmica, y con la mejora del comportamiento energético que aporta, sobre la envolvente.

-Proponer sistemas de cubiertas vegetales para la provincia, a partir de los factores analizados que influyen en el comportamiento energético con el fin de mejorarlo, estudiando además el ambiente climático y la vegetación autóctona, seleccionando la más adecuada y mejor adaptada a la zona climática de Alicante.

-Obtener el cálculo numérico de la transmitancia térmica de los diferentes tipos de cubiertas verdes.

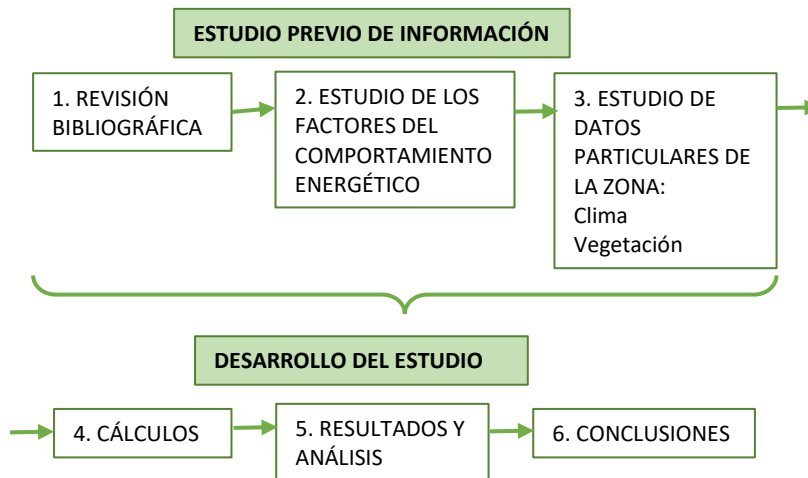
-Analizar y comparar los resultados obtenidos para proponer el espesor de sustrato de las cubiertas verdes propuestas, en la zona climática de la Alicante.

-Analizar la necesidad de una capa de aislamiento térmico para cubiertas semiintensivas según su valor de transmitancia térmica.

-Estudiar la transmitancia térmica otros tipos de cubiertas planas utilizadas habitualmente en la provincia, analizando y comparando los resultados con los obtenidos en las cubiertas verdes.

## 4. METODOLOGÍA

La metodología de trabajo utilizada se resume en el siguiente esquema:



En primer lugar se recopila la información fundamental que hay publicada sobre el tema a estudiar. Luego se recoge información más específica, como estudios o publicaciones desarrolladas sobre las cubiertas verdes.

Después se investiga sobre los factores que van a influir en el comportamiento energético de las cubiertas vegetales.

A continuación se profundiza en el tema a partir de estudiar la zona en particular y realizar los cálculos oportunos sobre la transmitancia térmica.

Para ello, primero se estudia la zona climática de la provincia de Alicante y su vegetación, para reunir parámetros importantes para los posteriores cálculos.

Luego se realizan los cálculos necesarios para obtener la transmitancia térmica de una cubierta verde, y se compara con cubiertas más tradicionales.

De estos cálculos se obtienen unos resultados, los cuales son analizados y comparados.

Con estos resultados y análisis, junto a toda la información analizada, se obtienen las conclusiones finales.

## 5. TIPOLOGÍA DE CUBIERTAS VERDES

Las cubiertas vegetales son aquellas que poseen como capa de terminación un sustrato que mantiene un manto vegetal, y que cumple con los beneficios proporcionados por este tipo de cubiertas. Se pueden construir en edificaciones nuevas o en otras ya existentes, en edificios residenciales, de oficinas o en naves industriales. Su área de implantación es amplia y variada.



Fig. 5.1: Cubiertas verdes del centro comercial Namba park (Osaka, Japón)  
(Fuente: [blog.is-arquitectura.es](http://blog.is-arquitectura.es))

La figura 5.1 muestra una gran edificación, en la que en sus azoteas se han realizado cubiertas verdes, donde abunda una gran cantidad de vegetación.



## 5.1. IDENTIFICACIÓN DE LA CUBIERTA VERDE

Se toma como base de estudio la cubierta plana invertida ajardinada. Este tipo de cubiertas está formada por diferentes estratos o capas que se suceden una encima de otra, desde un soporte resistente hasta llegar a la vegetación. Las capas que forman estas cubiertas, que a continuación se pueden observar en la figura 5.2, y que se apoyan sobre el soporte resistente son las que se describen a continuación, aunque pueden existir pequeñas variaciones según su clasificación:



Fig. 5.2: Capas que conforman una cubierta vegetal.

(Fuente: (Lafarge, 2013))

A continuación se hace una descripción general de las capas que conforman las cubiertas verdes.

**1) Formación de pendientes:**

Capa que crea la pendiente de la cubierta y la divide en paños, para facilitar la evacuación del agua. El relleno de esta capa se realiza con materiales ligeros para crear la mínima carga posible.

**2) Impermeabilización:**

Membrana que suele estar formada por materiales bituminosos o sintéticos, que impide que el agua filtre hacia el interior a través del soporte resistente. Debe tener un tratamiento contra la penetración de las raíces.

**3) Aislamiento térmico:**

Material con alta resistencia térmica. Protege a la capa impermeable al estar colocado sobre ella.

**4) Capa antipunzonante:**

Capa que hace la función de separación entre el aislamiento térmico y la capa drenante.

**5) Capa drenante:**

Recoge el agua que filtra el sustrato y la conduce hacia los puntos de evacuación. Esta capa es fundamental y característica en las cubiertas ajardinadas.

**6) Capa de filtración:**

Deja pasar el agua que a ella llega y retiene el sustrato. Esta capa es fundamental e imprescindible en las cubiertas vegetales.

### **7) Sustrato:**

Es la base para el crecimiento de la vegetación. Debe permitir el desarrollo de las raíces, debe ser estable y ser capaz de retener agua.

El espesor de esta capa depende de la vegetación que vaya a contener.

### **8) Vegetación:**

Es el manto vegetal que cubre el sustrato y es la característica principal de las cubiertas verdes.

## **5.2. CLASIFICACIÓN**

Las cubiertas vegetales se clasifican generalmente, según el espesor del sustrato, del tipo de vegetación que se dispone y del peso que se genera, en tres tipos: cubiertas extensiva o ecológica, cubierta semiintensiva y cubiertas intensivas o jardín. La diferencia principal está en el espesor del sustrato y en el tipo de vegetación a utilizar.

### **5.2.1. CUBIERTA EXTENSIVA**

La cubierta extensiva tiene un espesor poco profundo de sustrato. La capa de sustrato es por lo general mayor de 7 cm y su rango está entre 7 y 25 cm de espesor. Este tipo de cubiertas aportan buen comportamiento térmico a la edificación además de los muchos beneficios que producen este tipo de cubiertas. No suelen ser transitables pero sí accesibles para su mantenimiento. Son un buen lugar de hábitat para diferentes animales como aves, insectos y otras plantas.

La figura 5.3 representa las diferentes capas de formación de las cubiertas de tipo extensivas.

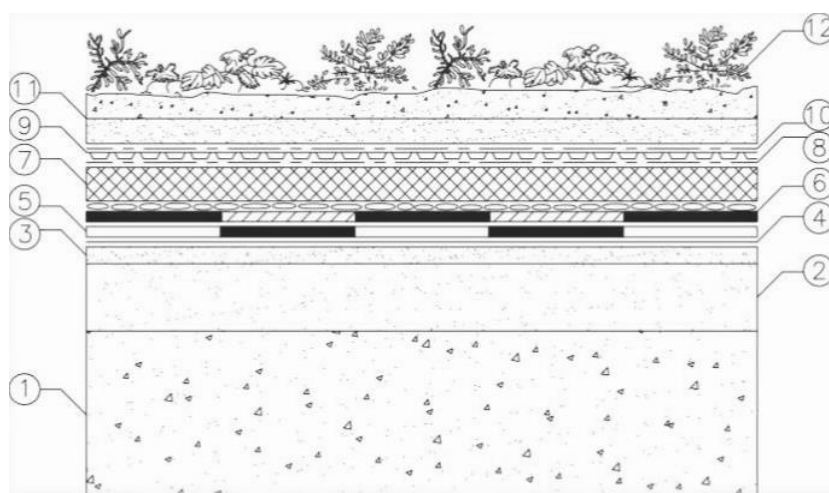


Fig. 5.3: Capas de formación de la cubierta extensiva.

(Fuente: Guía técnica cubiertas vegetales Danosa)

En la siguiente lista se enumeran las distintas capas de formación.

- 1\_ Soporte resistente
- 2\_ Formación de pendientes
- 3\_ Capa de regularización
- 4\_ Imprimación bituminosa
- 5\_ Lámina impermeable bituminosa
- 6\_ Lámina impermeable con protección anti-raíces
- 7\_ Aislamiento térmico
- 8\_ Lámina antipunzonante
- 9\_ Lámina drenante
- 10\_ Lámina filtrante
- 11\_ Sustrato de cubierta extensiva
- 12\_ Vegetación tipo cubierta extensiva

La vegetación que puede albergar este tipo de cubiertas debe ser de raíces poco profundas, de bajo porte, plantas que requieran poco aporte de nutrientes y de agua, y estar adaptadas al medio climático. Por lo general se utilizan ser plantas autóctonas para que se adapten al entorno, y de crecimiento lento y poca altura. Se emplean plantas suculentas, herbáceas perennifolias, cespitosas y vivaces, con las que se pueden crean diferentes espacios vegetados según su distribución, como el ejemplo que se observa en la figura 5.4.



Fig. 5.4: Cubierta extensiva  
(Fuente: singulargreen.com)

### 5.2.2. CUBIERTA SEMIINTENSIVA

El espesor de una cubierta semiintensiva suele estar en general entre 10 y 25 cm pero puede oscilar entre 10cm y 1m o superior. Al tener mayor espesor que una cubierta extensiva puede albergar vegetación de mayor porte, pero menor que una cubierta invertida. El mayor espesor de sustrato y la vegetación de mayor porte, generan sobre la cubierta mejores beneficios térmicos que los generados en una cubierta extensiva.

La formación de las cubiertas semiintensivas es similar a la formación de las cubiertas extensivas. Como se observa en la figura 5.5, las capas de formación son las mismas en ambos tipos de cubiertas, con la variante de que cada tipo de cubierta tiene un espesor de sustrato y una vegetación diferente.

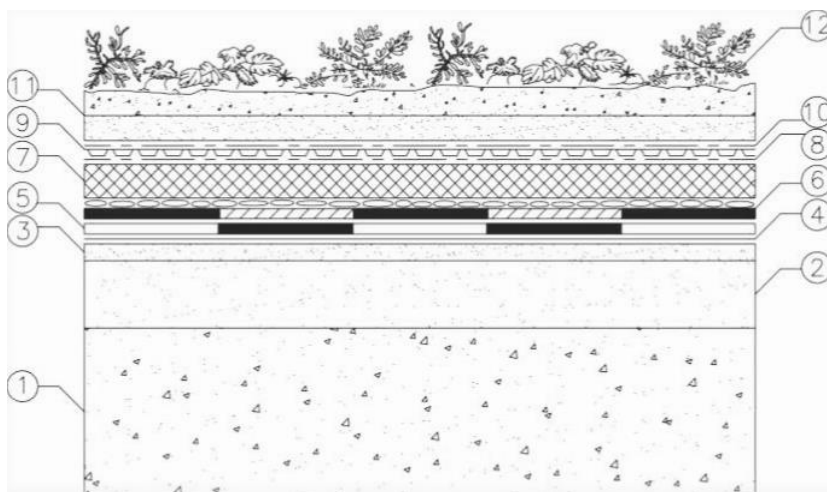


Fig. 5.5: Capas de formación de la cubierta semiintensiva.

(Fuente: Guía técnica cubiertas vegetales Danosa)

La siguiente lista recoge la enumeración de las distintas capas de formación, que se pueden apreciar en la figura 5.5.

- 1\_ Soporte resistente
- 2\_ Formación de pendientes
- 3\_ Capa de regularización
- 4\_ Imprimación bituminosa
- 5\_ Lámina impermeable bituminosa
- 6\_ Lámina impermeable bituminosa con protección anti-raíces
- 7\_ Aislamiento térmico
- 8\_ Lámina antipunzonante
- 9\_ Lámina drenante
- 10\_ Lámina filtrante
- 11\_ Sustrato de cubierta semiintensiva
- 12\_ Vegetación tipo cubierta semiintensiva

La cubierta semiintensiva no crea tanta carga sobre la estructura como una cubierta intensiva, ya que tiene menos espesor de sustrato y plantas menos pesadas.

Se suelen emplear en ellas plantas de tipo cespitosas, herbáceas perennifolias, vivaces, subarborescentes y arbustivas. Requieren un mantenimiento y riego periódico.



Sobre ellas suelen desarrollarse espacios transitables, donde se crean bellos jardines como se puede ver en la imagen de la figura 5.6.



Fig. 5.6: Cubierta semiintensiva  
(Fuente: zinco-cubiertas-ecologicas.es)

### 5.2.3. CUBIERTA INTENSIVA

La cubierta intensiva tiene un espesor de sustrato profundo, el cual puede oscilar de 10cm hasta 2m o más, pero lo más común en estas cubiertas es que tengan un espesor de más de 60 cm. Puede albergar gran variedad de vegetación. Se suelen emplear plantas cespitosas, arbustivas y arbóreas.

La formación de capas de la cubierta intensiva, recogida en la figura 5.7, es similar a cualquier tipo de cubierta vegetal, pero en el caso de estas cubiertas, la capa de aislamiento térmico puede ser opcional de colocarla o no, por el gran espesor que es sustrato suele tener, que genera un buen aislamiento térmico.

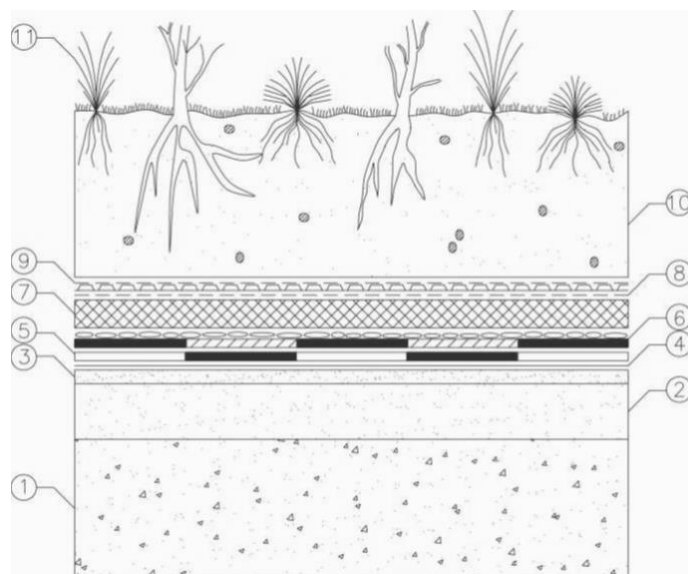


Fig. 5.7: Cubierta intensiva.

(Fuente: Guía técnica cubiertas vegetales Danosa)

La siguiente lista recoge la enumeración de las distintas capas de formación que se ven en la figura 5.7.

- 1\_ Soporte resistente
- 2\_ Formación de pendientes
- 3\_ Capa de regularización
- 4\_ Imprimación bituminosa
- 5\_ Lámina impermeable bituminosa
- 6\_ Lámina impermeable con protección anti-raíces
- 7\_ Aislamiento térmico (opcional)
- 8\_ Lámina antipunzonante
- 9\_ Lámina drenante y filtrante
- 10\_ Sustrato de cubierta intensiva
- 11\_ Vegetación tipo cubierta intensiva

La cubierta intensiva requiere un mantenimiento continuo de riego, aporte de nutrientes y control de crecimiento. Estas cubiertas son transitable y sobre ellas se crean jardines espacios y espacios útiles.

La gran carga que conllevan estas cubiertas obliga a reforzar la estructura sobre la que se va a construir. En la figura 5.8 se pueden ver las azoteas verdes



de un edificio en el que se han plantado una gran cantidad de árboles junto a otra diversidad de vegetación.



Fig. 5.8: Cubierta intensiva  
(Fuente: ecohabitar.org)

### 5.3. CARACTERÍSTICAS

En la siguiente tabla se recogen las características fundamentales que presentan los diferentes tipos de cubiertas vegetales, las cuales las hacen distintivas.

	<b>CUBIERTA EXTENSIVA</b>	<b>CUBIERTA SEMI- INTENSIVA</b>	<b>CUBIERTA INTENSIVA</b>
<i>ESPESOR SUSTRATO</i>	Mayor de 7 cm. (7-25cm)	De 10 a 25 cm. (10-100cm o más)	Mayor de 60 cm. (10-200cm o más)
<i>CAPA DE AISLAMIENTO</i>	Si	Si	Se puede prescindir de esta capa.
<i>TIPO DE VEGETACIÓN</i>	Plantas suculentas, herbáceas perennifolias, cespitosas y vivaces.	Plantas cespitosas, herbáceas perennifolias, vivaces, subarbusivas y arbusivas.	Plantas cespitosas, arbusivas y arbóreas.
<i>MANTENIMIENTO</i>	Bajo	Periódico	Continuo
<i>CARGA SUSTRATO Y VEGETACIÓN</i>	Baja	Media	Alta
<i>RIEGO Y NUTRICIÓN</i>	Por procesos natural.	Aporte periódico	Aporte regular
<i>CARGA TOTAL</i>	De 60 a 180 Kg/m <sup>2</sup> <sup>1</sup>	De 150 a 350 Kg/m <sup>2</sup> <sup>1</sup>	Mayor de 600 Kg/m <sup>2</sup> <sup>1</sup>
<i>COSTE APROXIMADO</i>	70 - 90 €/m <sup>2</sup> <sup>2</sup>	90 - 130 €/m <sup>2</sup> <sup>2</sup>	A partir de unos 150 €/m <sup>2</sup> , según diseño. <sup>2</sup>

Tabla 5.1: Características de las cubiertas verdes

(Fuente: elaboración propia)

1. Carga del área de vegetación (capa drenante, filtrante, de sustrato y de vegetación, a capacidad máxima del agua) a capacidad máxima del agua. 2. Se incluye impermeabilización, sistema drenante, sustrato, vegetación y riego. (Fuente: Guía de azoteas vivas y cubiertas verdes, Barcelona 2015)

Además de las características expuestas en el cuadro anterior, que tienen las cubiertas vegetales, la vegetación y el sustrato que se dispone sobre ellas, también deben tener unas características para que la cubierta funcione correctamente, las cuales se presentan a continuación.

### 5.3.1. VEGETACIÓN

Las especies de plantas que se van a disponer sobre la cubierta deben ser meticulosamente seleccionadas adaptándose siempre a la zona y al clima. Serán especialmente especies autóctonas, con una alta durabilidad y resistencia, con raíces anchas y poco profundas. (Garrido Talavera, 2011)

No es recomendable el uso de plantas con raíces muy grandes y de rápido crecimiento radicular, vegetación muy sensible, plantas con un nivel de mantenimiento muy elevado o plantas con una alta resistencia al viento por su alta densidad foliar. (Fernández Cañero & Emilsson, 2008)

En las cubiertas distinguidas como extensivas y semiintensivas, predominan las especies autóctonas y de menor porte que en una cubierta intensiva, con un mínimo mantenimiento requerido, adaptadas al medio climático.

Por consiguiente, la vegetación seleccionada para una cubierta verde es aconsejable que sea:

- Resistente a la sequía, a heladas, a altas temperaturas, al encharcamiento temporal, a fuertes insolaciones, a la acción del viento.
- Tolerante a la contaminación urbana.
- Que requiera poco aporte nutricional.
- Con un crecimiento controlado, pero un desarrollo rápido de cobertura en suelo.
- Que tenga un bajo peso.
- Riesgo bajo de incendio.
- No ser alergógena.

Para tener un mejor concepto de los tipos de plantas a emplear en una cubierta ajardinada, la NTJ-11C agrupa las variedades de plantas que se pueden utilizar en cubiertas verdes, en seis grandes grupos según el crecimiento de la vegetación, desarrollo y tipo de planta: Suculentas, herbáceas perennifolias y cespitosas, vivaces, subarbusivas, arbustivas, y árboles y palmeras. A continuación se describe cada grupo de plantas y sus características más relevantes:

### **1) Suculentas:**

Son plantas que acumulan una gran cantidad de agua en las hojas o en los tallos y que ofrecen un aspecto carnosos, gruesos y jugosos. Son las más empleadas en cubiertas extensivas, en especial las de género *Sedum*, por su resistencia a la sequía, facilidad de implantación y crecimiento, y su vistosa floración. Son casi todas las cactáceas y crasuláceas.

Características:

- Alta retención de agua.
- Gran resistencia a la radiación.
- Gran resistencia a altas temperaturas.
- Estrategia de supervivencia reduciendo transpiración.
- Gran resistencia a largas sequías.
- Requieren poco aporte nutricional.
- Fácil propagación.
- No son inflamables.
- No soportan encharcamientos.
- No resisten a las pisadas.

## **2) Herbáceas perennifolias y cespitosas:**

Plantas con vegetación aérea perenne, de aspecto tierno, no lignificadas y de porte bajo. Dentro de las cespitosas se encuentra la familia de las gramíneas y las leguminosas.

Características:

- Rápida colonización de espacios sin vegetación.
- Requieren poco aporte nutricional.
- Gran resistencia a temperatura extremas.

## **3) Vivaces:**

Plantas herbáceas perennes pero con follaje caduco, que pierden la parte aérea en épocas de mucho frío o calor intenso. Estas plantas tienen órganos de reserva subterráneos que les permiten vivir en condiciones extremas.

Características:

- Gran resistencia a la sequía.
- Gran resistencia a bajas temperaturas.
- Requieren poco aporte nutricional.
- Sensibles a encharcamientos.
- Floración muy vistosa.

## **4) Subarbustivas:**

Vegetación parecida a los arbustos, generalmente de poca altura. Son plantas de vegetación aérea perenne, algo lignificadas y de porte bajo.

Características:

- Gran resistencia a la sequía.
- Gran resistencia a temperaturas extremas.
- Requieren poco aporte nutricional.

### **5) Arbustivas:**

Vegetación leñosa, generalmente entre 1 y 5 m de altura cuando son adultas, que se ramifican desde la base y no tienen un tronco único predominante. Y vegetación aérea perenne, caduca o semicaduca.

Características:

- Alta resistencia a temperaturas extremas.
- Requieren poco aporte nutricional.
- Resisten bien el viento.

### **6) Árboles y palmeras:**

Vegetales leñosos, generalmente con un tallo simple o tronco, a menudo nudoso en la base y con una capa diferenciada, que normalmente alcanzan una altura superior a 5 m en estado adulto. Árboles de hoja perenne y caduca, coníferas y palmeras.

Características:

- Alta resistencia a temperaturas extremas.
- Requieren aporte nutricional.
- Generan gran sombra.
- Ambiente muy vistosos.

### 5.3.2. SUSTRATO

Por otro lado, el sustrato es el elemento de la cubierta vegetal que nutre, filtra y soporta la vegetación. La elección del tipo de sustrato se debe basar en la capacidad de retener agua y en un mantenimiento mínimo. (Molina Blanco, 2013) El sustrato debe funcionar correctamente como capa drenante, y no ser propicio a sufrir apelmazamientos ni acumulaciones de grano fino, que no permitan el correcto drenaje de la superficie de cubierta. (Danosa, 2014)

Estas capacidades dependen del espesor del sustrato, que a su vez, depende del tipo de cubierta seleccionada, del tipo de vegetación que el sustrato soportará y de la compactación a lo largo del tiempo. Aunque el espesor puede variar en algunas zonas para distintas plantaciones.

A parte del espesor del sustrato, la composición del mismo es fundamental para el perfecto desarrollo y supervivencia de la vegetación. En cubiertas ajardinadas se suelen utilizar sustratos de tipo orgánico mezclados con inorgánicos, y se suele añadir algún mineral para mejorar su granulometría y porosidad. Pero se debe elegir como prioritaria una materia prima local. Además se pueden incorporar otro tipo de materiales al sustrato para crear diferentes zonas de paso o de mantenimiento, como grava, pavimento...(Danosa, 2014)

La NTJ-11C, establece una serie de requisitos descritos a continuación, que son aconsejables que el sustrato complazca, para el correcto desarrollo de la vegetación:

- Utilizar materias primas locales.
- Limitar el riesgo de toxicidad en plantas.
- Resistentes al fuego.
- Buena capacidad de re-humectación.
- Bajo contenido en caliza activa.
- Distribución granulométrica adecuada.
- Contenido mínimo en materia orgánica.

- Resistente a heladas.
- Estabilidad estructural de agregados.
- Adecuada permeabilidad.
- Baja presencia de sales.
- Capacidad de retención de agua.
- Contenido mínimo de aire.
- Valores neutros de pH.
- Bajo contenido en sales.
- Mínimo contenido de nutrientes.
- Permitir germinaciones.

Las cubiertas verdes se clasifican según estos dos aspectos fundamentales, vegetación y sustrato, que además son su característica principal. Y estos dos elementos de las cubiertas vegetales van en función uno del otro, en concreto, cada grupo de plantas requiere un espesor mínimo de sustrato para su supervivencia. Esta clasificación se muestra gráficamente en el cuadro que contiene la figura 5.9.



TIPOS DE CUBIERTAS VERDES	GROSORES DE LA CAPA DE SUSTRATO EN cm																				
GRUPOS DE PLANTAS	6	8	10	12	15	18	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100	125	150	200
<u>CUBIERTA VERDE EXTENSIVA</u>																					
Plantas suculentas																					
Plantas suculentas - herbáceas perennifolias																					
Plantas suculentas - herbáceas perennifolias – cespitosas																					
Plantas cespitosas - herbáceas perennifolias - vivaces																					
<u>CUBIERTA VERDE SEMIINTENSIVA</u>																					
Plantas cespitosas - herbáceas perennifolias - vivaces																					
Plantas subarborescentes																					
Plantas arbustivas																					
<u>CUBIERTA VERDE INTENSIVA</u>																					
Plantas cespitosas																					
Plantas subarborescentes																					
Plantas arbustivas de porte mediano (1-3m)																					
Plantas arbustivas de porte grande (> 3m)																					
Plantas arbustivas de porte grande y árboles y coníferas de porte pequeño (< 6m)																					
Árboles y coníferas de porte mediano (6 -15m)																					
Árboles y coníferas de porte grande (> 15m)																					

Fig. 5.9: Profundidad mínima del sustrato en función de la vegetación y del tipo de cubierta verde.

(Fuente: Norma Tecnológica de Jardinería y Paisajismo. Cubiertas verdes (NTJ-11C))

## **5.4. COMPOSICIÓN DE LA CUBIERTA VERDE**

Una correcta ejecución de cada elemento de una cubierta vegetal es fundamental para el buen funcionamiento de la propia cubierta y su durabilidad.

La figura 5.10 representa un esquema resumen de la formación de las capas de una cubierta vegetal. El esquema recoge las capas que componen la cubierta vegetal, y sus características más importantes, además contiene puntos singulares y aspectos importantes a la hora de realizar la ejecución.

Para comprender los diminutivos empleados en el esquema se utiliza la siguiente leyenda:

- Ext: Cubierta extensiva
- Semi: Cubierta semiintensiva
- Int: Cubierta intensiva
- LH: Ladrillo hueco
- LP: Ladrillo perforado
- LM: Ladrillo macizo
- Rc: Resistencia a compresión
- M-5: Mortero de cemento M-5 N/m<sup>2</sup>
- e: Espesor
- Pte: Pendiente
- Mín: Mínimo
- Máx: Máximo
- d: Distancia
- Enc. vert: Encuentros con elementos verticales
- LI: Lámina impermeable
- Ref: Refuerzo
- XPS: Poliestireno extruido
- m: Masa

## La cubierta verde como mejora del comportamiento energético en Alicante.

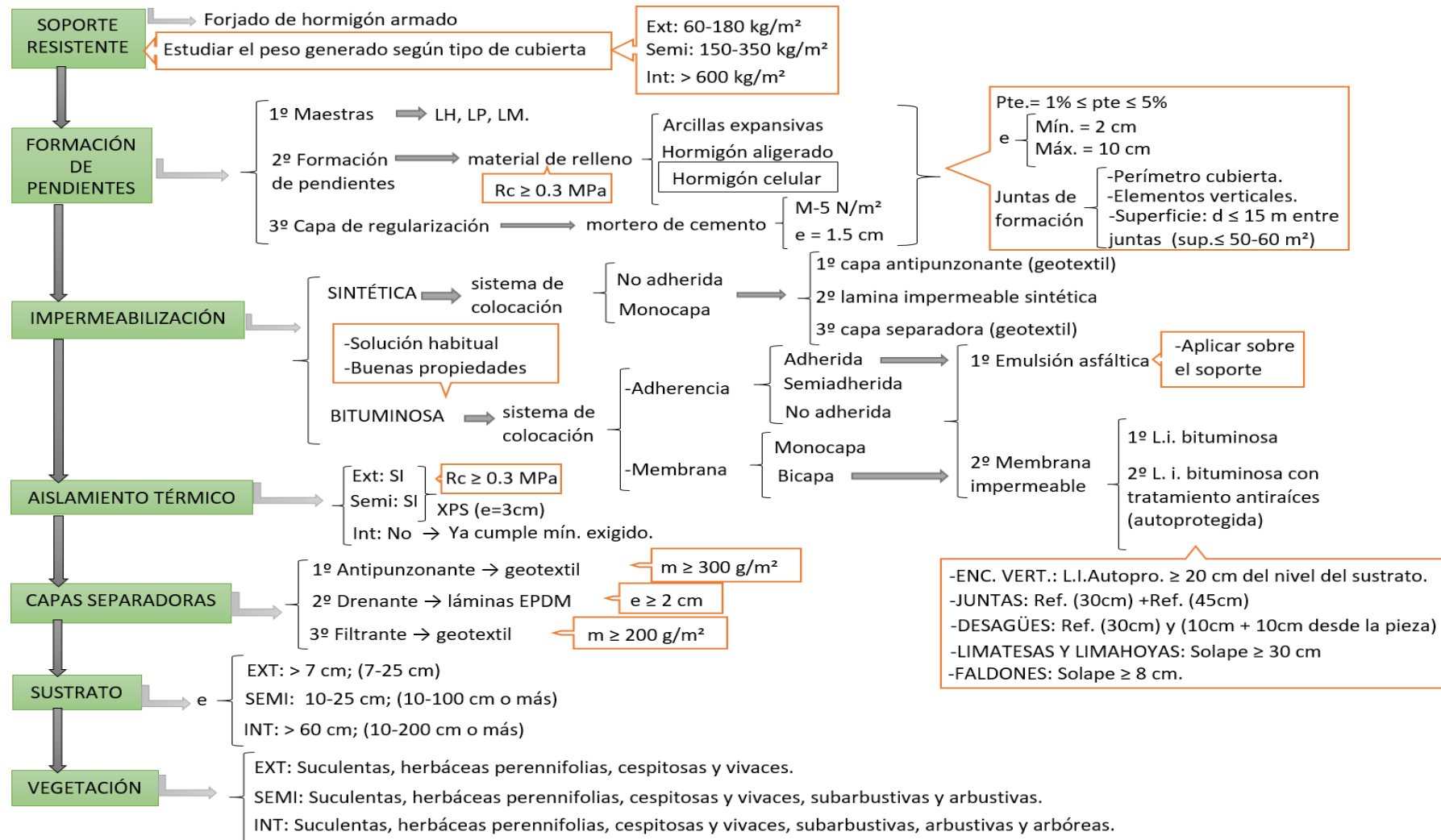


Fig. 5.10: Esquema composición de una cubierta verde. (Fuente: Elaboración propia)

A continuación se describe el proceso de ejecución que se va a desarrollar sobre una cubierta plana invertida ajardinada, en la que la capa de aislamiento térmico se encuentra por encima de la membrana impermeable. Se adopta como tipo la cubierta invertida por las ventajas que aporta frente a una cubierta convencional: la membrana impermeable queda protegida por el aislamiento y las capas de protección; se mantiene la estabilidad dimensional de la cubierta al encontrarse el aislamiento en el exterior; la impermeabilidad de la cubierta queda garantizada; la lámina impermeable actúa de barrera de vapor, evitando que se produzcan condensaciones. (Sánchez-Ostiz Gutiérrez, 2007)

Primero, previamente a la ejecución, se debe considerar la sobrecarga que puede generar el sustrato y la vegetación sobre la estructura de la edificación. En cubiertas extensivas y semiintensivas es menor la sobrecarga, pero en cubiertas intensivas se pueden generar grandes cargas sobre la estructura.

La conformación de los diferentes estratos de la cubierta se realiza de abajo a arriba. En este orden, las capas que conforman una cubierta vegetal son las siguientes:

1. Formación de pendientes.
2. Impermeabilización.
3. Aislamiento térmico.
4. Capa antipunzonante.
5. Capa drenante.
6. Capa filtrante con tratamiento anti-raíces.
7. Capa de sustrato.
8. Vegetación.

La figura 5.11 que abajo se expone, representa la distribución de capas de conformación de una cubierta vegetal.

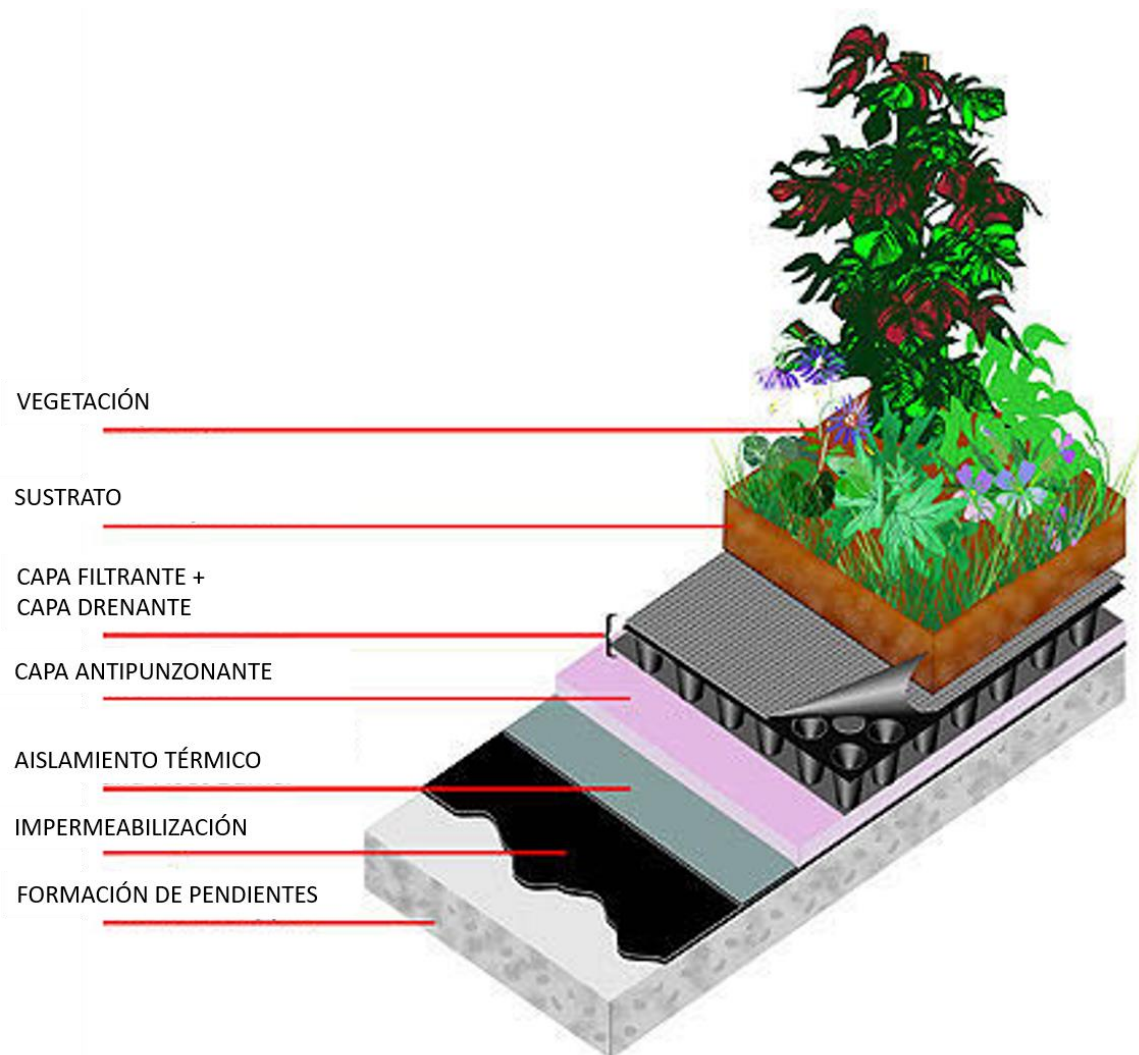


Fig. 5.11: Distribución de capas de formación de una cubierta verde

(Fuente: cienladrillos.com)

A continuación se describen cada una de las capas de la cubierta y sus diferentes componentes.

#### 5.4.1. FORMACIÓN DE PENDIENTES

La capa de formación de pendientes conforma los paños que permiten la evacuación del agua. Se ejecuta con ladrillos cerámicos para la formación de las maestras, una capa de relleno y una capa de regularización de mortero de cemento. Esta capa debe tener un espesor mínimo de 2 cm y un máximo de 10 cm.

## MATERIALES:

- Ladrillos cerámicos huecos dobles para la formación de maestras (LHD).
- Material de relleno: Hormigón celular con aire ocluido,  $D > 250\text{Kg/m}^3$  y  $R_c > 0'3\text{MPa}$ .
- Mortero de cemento para formación de maestras y capa de regularización, preparado Clase M-5.

## EJECUCIÓN:

El orden de intervención es el siguiente:

- 1º Limpieza de la superficie
- 2º Replanteo de las pendientes
- 3º Ejecución de las maestras
- 4º Vertido del material de relleno
- 5º Formación de capa de regularización

### 1. Trabajos previos:

La superficie de la cubierta debe estar completamente limpia y los elementos verticales terminados.

Enfoscado con mortero de cemento todos los paramentos verticales hasta una altura de 20 cm por encima del nivel final de la capa de protección (20 cm sobre el nivel final del sustrato).

Proteger las bajantes con paragavillas mientras se realizan los trabajos de formación de pendientes, para evitar que se obstruyan.

Espesor medio de la capa de formación de pendientes entre un mínimo de 2 cm y un máximo de 10 cm.

## 2. Replanteo de pendientes

Primero se ejecuta una maestra alrededor de cada sumidero en un radio de 50-60 cm y de una altura de 5-6 cm. Desde estas maestras hasta el desagüe se acentúa la pendiente para que el agua no quede retenida por los elementos de terminación del sumidero.

-Encuentros inclinados de la formación de pendientes con los petos perimetrales:

Se hace la pendiente indicada en las distintas limahoyas, y se marcan, en el perímetro del peto, las cotas resultantes.

Ningún tramo debe superar el 5% de pendiente.

-Encuentros horizontales de la formación de pendientes con los petos perimetrales:

Se calcula la pendiente necesaria y se marca.

La limahoya más larga debe tener una pendiente igual o mayor al 1%, y la más corta no debe superar el 5%.

## 3. Ejecución de maestras

Se ejecutan dos maestras paralelas, de ladrillo hueco doble tomado con mortero de cemento, separadas entre sí 3 cm en:

-Formación de juntas de dilatación del edificio.

-Juntas de dilatación de la cubierta con distancias entre paños de más de 15 m.

-Junta de dilatación perimetrales paralelas a los petos.

Evitar acumulación de suciedad en las juntas que impidan su movimiento, rellenándolas de un material elástico como Poliestireno Expandido.

Se ejecuta una maestra de ladrillo hueco doble tomado con mortero de cemento en:

-Limatesas y limahoyas, formando la pendiente replanteada.

Se rematan los ladrillos con mortero de cemento maestreado para facilitar la compactación de la capa de regularización.

#### 4. Capa de relleno de la formación de pendientes

Verter el hormigón fluido entre las maestras mediante bombeo hasta el nivel de asiento de la capa de regularización. Introducir burbujas de gas dentro del material fluido para conseguir un hormigón poroso.

#### 5. Capa de regularización de mortero de cemento.

Se extiende una capa de mortero de cemento sobre la capa de material de relleno y sobre la maestras para conseguir una superficie fina seca y limpia. Esta capa será interrumpida en la juntas de dilatación del edificio, de la cubierta y perimetrales, y alrededor de los desagües, respetando su formación en todo caso.

La capa de regularización tendrá un espesor entre 1,5 y 2cm. En encuentro con paramentos verticales la solución se hará en ángulo recto.

#### **5.4.2. IMPERMEABILIZACIÓN**

La capa impermeable debe cumplir la función de estanqueidad total de la cubierta. En particular, esta capa debe ser resistentes a microorganismos y a la penetración de raíces.



La membrana impermeable se realiza con láminas bituminosas y la unión al soporte será con sistema adherido. La impermeabilización se hace con doble lámina, y la última de ellas debe ser con tratamiento anti-raíces. Para ello se coloca una lámina bituminosa, y sobre ella, otra con acabado autoprotegido de grano mineral.

#### MATERIALES:

- Imprimación con emulsiones asfálticas, de rendimiento 0,3 kg/m<sup>2</sup>.
- Láminas bituminosas con refuerzo interior, para la primera capa y refuerzos inferiores.
- Láminas bituminosas con refuerzo interior y tratamiento anti-raíces, para la segunda capa y refuerzos superiores.
- Piezas especiales para desagüe.
- Perfil cilíndrico de espuma de poliuretano.

#### EJECUCIÓN:

- 1º Imprimación.
- 2º Piezas especiales de desagüe
- 3º Refuerzo inferior
- 4º Colocación de lámina en puntos singulares
- 5º Colocación de lámina en paños de cubierta

La superficie a impermeabilizar debe estar limpia y exenta de cuerpos extraños.

#### 1. Imprimación:

Al tratarse del sistema de colocación adherido, se aplica la emulsión sobre toda la superficie de la formación de pendientes y sobre los elementos verticales, donde se fijarán los refuerzos inferiores de lámina. La imprimación se deja secar un mínimo de un día.

## 2. Piezas especiales de desagüe:

Colocar las piezas especiales para la conformación de los desagüe, ya sea vertical u horizontal, encajadas en su lugar.

## 3. Refuerzo inferior de lámina impermeable:

Se cortan piezas rectangulares o cuadradas de lámina bituminosa, para formar las bandas de refuerzo inferior que facilitan la adherencia de la lámina, en los puntos singulares que a continuación se exponen.

### **Puntos de desagüe de evacuación vertical:**

Pieza cuadrada de 60x60 cm.

Colocación centrada.

Perforada en su centro.

Mediante calentamiento por soplete se adhiere a la pieza especial de desagüe, sobrepasando en un mínimo de 10cm el ala de este elemento.

### **Puntos de desagüe de evacuación horizontal:**

Pieza soldada en horizontal y en vertical.

Dimensión y forma adecuadas para colocar la pieza de desagüe.

La banda debe sobresalir mínimo unos 10 cm alrededor de la pieza de desagüe.

### **Limahoyas y limatesas:**

Disponer una banda de 30 cm de ancho en toda la longitud de limatesas y limahoyas.

Colocación centrada.

Se suelda a la capa de formación de pendientes.

### **Encuentros con paramentos verticales o elementos pasantes:**

Disponer una banda en todo el perímetro, que tenga un ancho mínimo de 15 cm hacia el paramento vertical y otros 15 cm hacia el soporte.

Se sueldan las bandas en los encuentros, sobre los paramentos verticales y horizontales.

#### **Juntas de dilatación (de la cubierta y del edificio):**

Se suelda al soporte una banda en toda la longitud, que tenga 30 cm de ancho a cada lado de la junta.

#### **4. Paños de cubierta.**

El sistema de colocación de las láminas impermeables será adherido; se colocan sobre el soporte, adheridas a él y entre sí.

Se coloca la primera hilada de lámina empezando por la parte más baja del paño, de forma perpendicular a la línea de máxima pendiente. Se solapan las hiladas entre sí  $8\pm 1$  cm. Se va ascendiendo la pendiente del faldón con las siguientes hiladas, solapando  $8\pm 1$  cm sobre esta primera hilada, y así sucesivamente se asciende por la pendiente del faldón hasta cubrirlo. Se sueldan con el soplete, por reblandecimiento del mástico de las dos piezas.

Las láminas se deben colocar desplazando los solapes de la segunda lámina, con respecto a los de la primera, la mitad del ancho del rollo.

La segunda lámina de la impermeabilización con protección anti-raíces se suelda completamente sobre la primera. Se va calentando la lámina con el soplete y se va desenrollando. Los solapes en la misma hilada serán de  $10\pm 1$  cm, y los solapes con diferentes hiladas serán de  $8\pm 1$  cm.

En la figura 5.12 se observa la adherencia con soplete de la lámina impermeable, y la figura 5.13, se observa una lámina impermeable ya adherida sobre una cubierta.



Fig. 5.12: Adherencia con soplete de lámina impermeable  
(Fuente: la cubierta ajardinada. Viviana Carrera, 2011)



Fig. 5.13: Lámina impermeable adherida  
(Fuente: la cubierta ajardinada. Viviana Carrera, 2011)

## 5. Colocación de láminas impermeables en puntos singulares:

### **Encuentro con paramentos verticales:**

En los paramentos verticales la lámina anti-raíces debe subir hasta alcanzar 20 cm por encima del nivel final del sustrato.

Adherir la primera lámina impermeable al refuerzo inferior. Se calienta la banda de refuerzo con el soplete hasta que se reblandece, y a continuación se une a la lámina impermeable.

Seguida de la primera lámina se coloca la segunda lámina bituminosa con protección anti-raíces, con el mismo proceso que la primera lámina. Se calienta con el soplete la primera lámina hasta su reblandecimiento y se coloca encima la segunda lámina, quedando unidas.

A continuación y de igual forma, se adhiere una banda de refuerzo superior de lámina con tratamiento anti-raíces a la segunda lámina de la impermeabilización, sobre el soporte, sobrepasando al refuerzo inferior en 10 cm como mínimo. La banda de refuerzo superior se sube por el paramento vertical hasta una altura tal que sobrepase en 20 cm la altura final del sustrato.

En la siguiente figura (5.14) se puede apreciar una imagen del encuentro de la cubierta con un peto o elemento vertical.

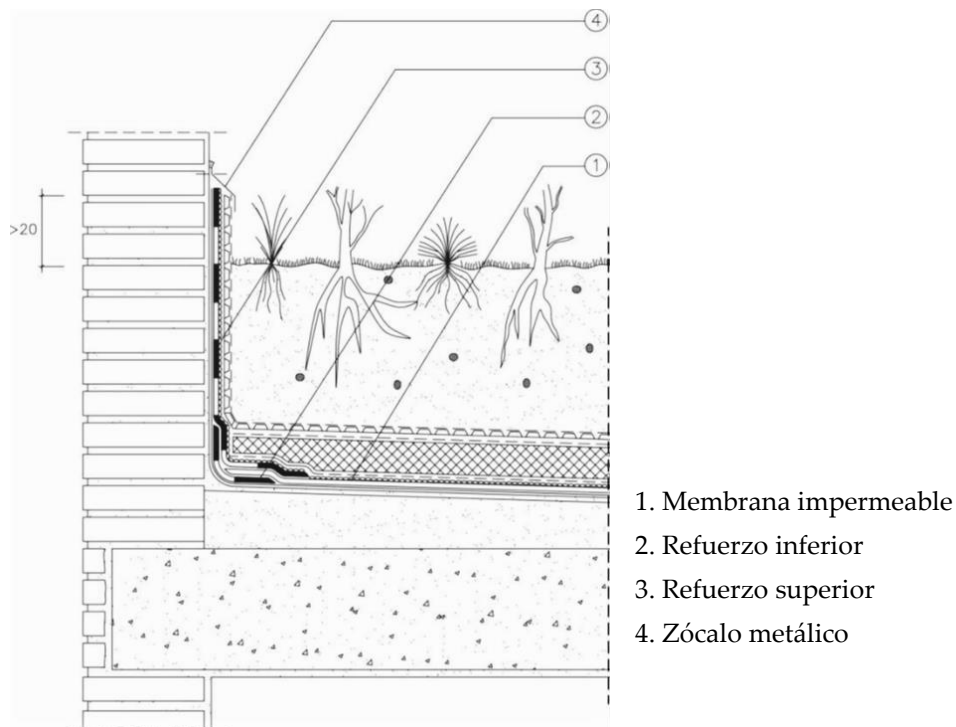


Fig. 5.14: Encuentro con peto o paramento vertical.

(Fuente: Guía técnica cubiertas vegetales Danosa)

Sin embargo, en la figura 5.15, se puede ver el encuentro de la cubierta con una claraboya, que también se trata de un encuentro con un elemento vertical.

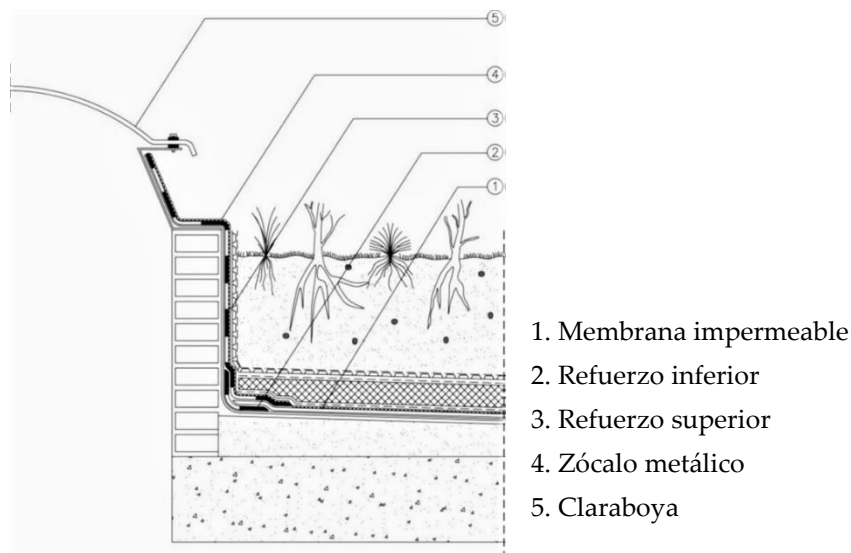


Fig. 5.15: Encuentro con claraboya.

(Fuente: Guía técnica cubiertas vegetales Danosa)

### **Juntas de dilatación del edificio y de la cubierta:**

Se realiza el mismo proceso que en el caso anterior: Adherir la primera lámina impermeable a la banda de adherencia. Se unen calentando la banda de adherencia con el soplete hasta que se reblandece, y a continuación se coloca la lámina impermeable.

Seguida de la primera lámina se coloca la segunda lámina anti-raíces con el mismo proceso que la primera lámina. Se calienta con el soplete la primera lámina hasta su reblandecimiento y se coloca encima la segunda lámina, quedando unidas.

Se coloca un cilindro de mástico bituminoso a lo largo de toda la junta para respetar su formación entre láminas

A continuación y de igual forma, se coloca una banda de refuerzo de lámina bituminosa formando un fuelle con el mástico bituminoso, sin adherirlo a este, pero sí se adhiere a la segunda lámina de impermeabilización previamente calentada con soplete. Esta banda tiene mínimo 30 cm de ancho y se coloca centrada a la junta.

Encima de este refuerzo colocamos otra banda de refuerzo superior, de ancho mínimo 45 cm, de lámina con tratamiento anti-raíces, de igual forma y sin adherir en el lugar del mástico bituminoso, pero sí a la segunda lámina y a la de refuerzo inferior.

### **Elementos de evacuación vertical:**

Se suelda la banda de adherencia al ala de la pieza especial de desagüe, colocada previamente. Esta banda debe sobrepasar 10 cm el ala de la pieza y otros 10 cm a partir del ala para trabajar como refuerzo.

De nuevo se sueldan la primera lámina impermeable, a la banda de adherencia, y encima de esta primera se suelda la segunda lámina.

En elementos de evacuación puntual o lineal se dispondrá un refuerzo en el paramento vertical adherido sobre la segunda lámina, y que llegará mínimo 20 cm por encima del nivel máximo de la capa de sustrato de la cubierta.)

### **Limatesas y limahoyas:**

Se calienta la banda de adherencia dispuesta en las limatesas y en las limahoyas, y se adhiere a ellas la primera lámina impermeable, solucionando el encuentro de las láminas de los dos paños mediante un solape mínimo de 30 cm entre ellas. Se adhiere, sobre la primera lámina, la segunda, y con el mismo solape se soluciona el encuentro.

### **PRUEBA DE ESTANQUEIDAD:**

Después de haber realizado la impermeabilización y antes de colocar la siguiente capa, se debe realizar una prueba de estanqueidad. Para ello se taponan las bajantes y se inunda la cubierta de agua hasta un nivel 5 cm por debajo, del nivel que se eleva la lámina impermeable por los paramentos.

La cubierta debe mantenerse unas 24 horas llena de agua, para observar posibles filtraciones si las hubiera. Una vez transcurrido el tiempo necesario, el agua se evacúa de forma progresiva para no sobrecargar las bajantes. (Tejela Juez, Navas Delgado, & Machín Hamalainen, 2011)

En la siguiente figura se puede observar una imagen de la cubierta anegada de agua mientras se realiza la prueba de estanqueidad de la cubierta.





Fig. 5.16: Prueba de estanqueidad de una cubierta.  
(Fuente: la cubierta ajardinada. Viviana Carrera, 2011)

### 5.4.3. AISLAMIENTO

Para cubiertas intensivas no es obligatorio poner una capa de aislamiento porque el propio sustrato, por lo general de espesor mayor a 60 cm, ya proporciona el aislamiento mínimo requerido. Pero da mejor resultado si se dispone dicha capa ya que contribuye a disminuir el intercambio de energía. (Garrido Talavera, 2011)

Para cubiertas extensivas, con capa de sustrato de espesor mayor a 7 cm, se dispondrán paneles rígidos de polietileno extruido (XPS) con una resistencia a compresión de  $R_c \geq 0.3\text{MPa}$ , de espesor 30mm.

En cubiertas semiintensivas se dispone el mismo aislamiento que para una cubierta extensiva. Por lo tanto se colocan paneles rígidos de polietileno extruido (XPS) con una resistencia a compresión de  $R_c \geq 0.3\text{MPa}$ , de espesor 30mm.

#### MATERIALES:

- Paneles rígidos de Poliestireno extruido (XPS),  $R_c \geq 0.3\text{MPa}$ .
- Adhesivo asfáltico.

#### EJECUCIÓN:

1. Colocar paneles enteros, apoyados sobre la impermeabilización, a rompejuntas y encajados, con una separación entre ellos menor a 5mm.
2. Cubrir los huecos que quedan de colocar paneles enteros, con trozos cortados a medida y con cantos limpios, con una separación entre ellos menor a 5mm.
3. Interrumpir los paneles en las juntas de dilatación, dejando una separación entre ellos de 3 cm.
4. Perforar los paneles a la medida del tamaño de los desagües. Adherir los paneles por puntos alrededor del sumidero, con adhesivo asfáltico sin disolvente.
5. Ajustar los paneles a la pendiente de las limatesas y limahoyas, mediante la realización de los cortes necesarios.

#### 5.4.4. CAPA ANTIPUNZONANTE

##### MATERIAL:

-Geotextil de polipropileno no tejido, de  $m \geq 300\text{g/m}^2$ .

##### EJECUCIÓN:

1. Extender los rollos de geotextil de polipropileno no tejido sobre el aislamiento térmico, cubriendo toda la superficie, como se observa en la figura 5.17.
2. Se interrumpe la continuidad de la lámina de geotextil en los puntos de desagüe, dejando libre el hueco del sumidero, para su perfecto funcionamiento.
3. Elevar la capa de geotextil hacia el paramento vertical, un mínimo de 20 cm por encima de la capa final de sustrato, en el perímetro de la cubierta y en elementos salientes como chimeneas.

Y en los encuentros verticales de los elementos salientes como desagües o claraboyas, se eleva la capa antipunzonante hasta sobrepasar el nivel del sustrato. (Danosa, 2014)

#### 5.4.5. CAPA DRENANTE

##### MATERIALES:

-Lamina de EPDM modular, con espesor mayor o igual a 2cm.

##### EJECUCIÓN:

Se adoptan las mismas medidas y el mismo sistema de colocación que la capa antipunzonante. Se desenrollan los rollos sobre la superficie de la cubierta, como se puede apreciar en la figura.



Fig. 5.17: Colocación lámina drenante.

(Fuente: la cubierta ajardinada. Viviana Carrera, 2011)

#### 5.4.6. CAPA FILTRANTE CON TRATAMIENTO ANTIRAICES

##### MATERIAL:

-Geotextil de polipropileno tejido, de  $m > 200\text{g/m}^2$ .

##### EJECUCIÓN:

Se adoptan las mismas medidas y el mismo sistema de colocación que la capa antipunzonante.

Puntos singulares: El encuentro con los paramentos verticales se resuelve con un zócalo metálico.

La siguiente figura representa la colocación de la lámina antipunzonante.



Fig. 5.18: Lámina antipunzonante.  
(Fuente: la cubierta ajardinada. Viviana Carrera, 2011)

#### 5.4.7. CAPA DE SUSTRATO

##### MATERIALES:

-Sustrato orgánico e inorgánico.

##### EJECUCIÓN:

Se extiende sobre el soporte el material de sustrato y se regulariza. Se rellena hasta la altura requerida quedando un espesor medio en toda la superficie. El espesor depende del tipo de cubierta elegida.

Espesor > 7cm (7-25cm) (CUBIERTA EXTENSIVA)

Espesor de 10 a 25cm (10-100cm) (CUBIERTA SEMIINTENSIVA)

Espesor > 60cm (10-200cm) (CUBIERTA INTENSIVA)

Es recomendable rellenar con grava el perímetro de la cubierta, unos 30 cm desde el paramento hacia el interior, para mejorar la aireación de las raíces de la vegetación. Además también se recomienda hacer lo mismo alrededor de los elementos pasantes, para alejar la vegetación de elementos como los desagües, creando una zona de protección.

#### 5.4.8. VEGETACIÓN

##### MATERIALES DE REPRODUCCIÓN:

- Semillas.
  - Propágulos vegetativos
  - Plántulas.
  - Tapices vegetales precultivados.
- {

  - Esquejes
  - Rosetas
  - Tubérculos
  - Bulbos
  - Rizomas

##### MÉTODOS DE PLANTACIÓN:

Es recomendable combinar varios de los siguientes métodos de plantación en una cubierta verde para obtener la mayor cobertura vegetal posible.

Siembra.

Hidrosiembra e hidromanta.

- Propagación vegetativa
- {

  - Esquejes
  - Rosetas
  - Tubérculos y bulbos
  - Rizomas

Plantación de plántulas.

Implantación de tapices vegetales precultivados.

#### MANTENIMIENTO:

El correcto funcionamiento de la cubierta depende de la capa de vegetación que la cubre. Por ello es importante darle cierto mantenimiento y riego a la vegetación, según la demanda de agua del tipo de cubierta y vegetación. En climas cálidos hay que regar todos los tipos de cubiertas para mantener las plantas vivas y que la cubierta mantenga su funcionalidad.(Fernández Cañero & Emilsson, 2008)

## **5.5. FUNCIONES Y BENEFICIOS**

Las cubiertas verdes poseen unas buenas propiedades que aportan gran cantidad de beneficios y funciones al lugar y al medio sobre el que se colocan. Estas funciones y beneficios se clasifican en tres grupos:

1. Funciones y beneficios medioambientales.
2. Funciones y beneficios sobre la edificación.
3. Funciones y beneficios sociales y urbanos.

### **5.5.1. MEDIOAMBIENTALES:**

#### a) Reducción de los niveles de contaminación.

La vegetación tiene la capacidad de absorber sustancias contaminantes y gases nocivos de la atmósfera, actuando como sumideros naturales de CO<sub>2</sub>. Además las plantas absorben dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) para realizar la fotosíntesis, disminuyendo la presencia de este gas en la atmósfera, y expulsan oxígeno,

mejorando así la calidad del aire. También son capaces de absorber metales del aire en suspensión.

Por otro lado al reducir el consumo energético de climatización de las edificaciones, también disminuye la producción de CO<sub>2</sub> que se vierte a la atmósfera generada por el uso de estos aparatos. La disminución de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera ayuda a disminuir el efecto invernadero, que provoca el calentamiento de la tierra.

Cada planta tiene una capacidad para absorber CO<sub>2</sub> y agua, y producir así una cantidad de oxígeno. El tipo de vegetación más productiva es la que más biomasa produce al año; por lo tanto, una cubierta del tipo intensiva generará más oxígeno y absorberá más dióxido de carbono que una cubierta extensiva. (Tarrida Llopis, 2010)

#### b) Mitigación del efecto isla de calor.

El efecto isla de calor es el sobrecalentamiento que se produce en las ciudades con respecto a las zonas periféricas, sobre todo en las épocas calurosas. Este aumento de temperatura centrado en la zona de las ciudades, es debido a la gran densidad de población, a las superficies pavimentadas, a la contaminación expulsada por la industria, por el mismo uso de los edificios, y por los vehículos, además de una gran ausencia de zonas verdes, que se encuentran de manera minimizada y heterogénea. (Andrés & Gutiérrez, 2008)

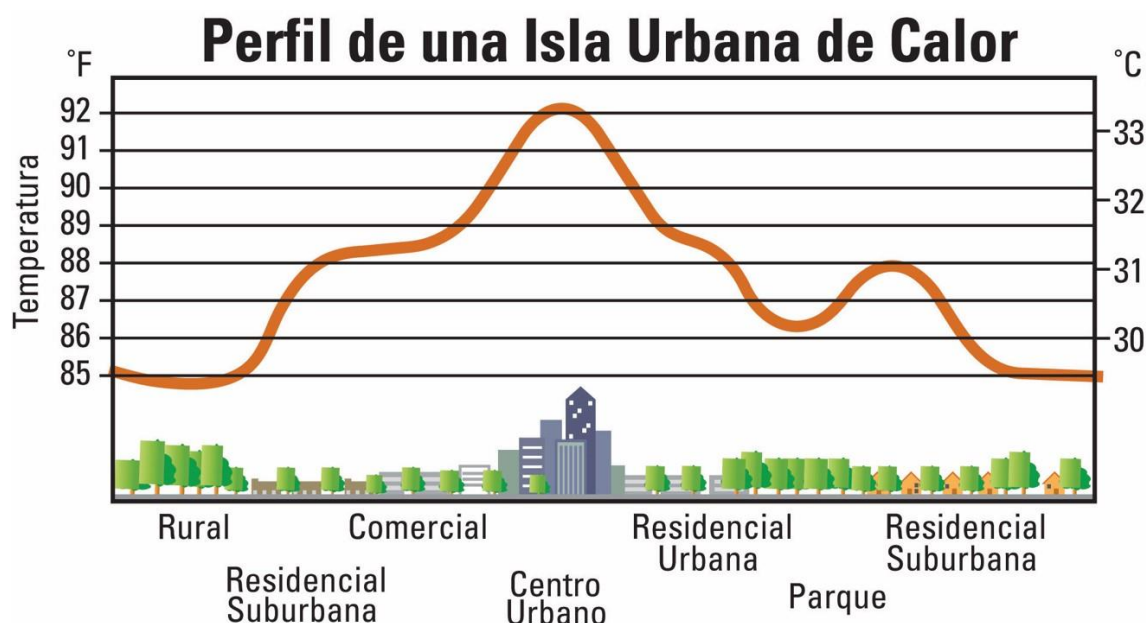


Fig. 5.19: Perfil de una isla de calor urbano.  
(Fuente: elauladehistoria.blogspot.com)

Se observa en la figura 5.19, que representa la diferencia de temperatura entre las diferentes zonas de una ciudad, que las áreas con masas de vegetación próximas son más frescas, ya que las plantas absorben la mayor parte de la energía recibida del sol: el 2% es usado para la fotosíntesis, 48% pasa a través de las hojas y es almacenado en la planta, 35% es transformado en calor usado para la transpiración y solo el 20% es reflejado. (Samangoeei, 2006)

Ocurre pues, que las cubiertas verdes son capaces de reducir el efecto isla de calor de las ciudades disminuyendo la temperatura de las superficies plantadas mediante el proceso de transpiración y evaporación que las plantas realizan. (Barcelona Ayuntamiento, 2015)

Además, la vegetación es capaz de captar partículas contaminantes del aire de las ciudades, disminuyendo así el efecto “smog” que se produce sobre todo en los grandes centros urbanos. Este efecto hace que por la acumulación de elementos contaminantes y partículas en suspensión en el aire, se forme una nube grisácea entorno a la ciudad. (Danosa, 2014)



c) Biodiversidad.

Las cubiertas verdes crean espacios ideales para aves, insectos y plantas especialmente autóctonos, pero también pueden ser lugar de paso o parada de animales migratorios como aves, mariposas y otros seres vivos. Los espacios verdes que un día formaron parte del medio natural, y que con la construcción de las ciudades tanto escasean, se pueden reintegrar mediante la formación de cubiertas vegetales en las azoteas de nuestras edificaciones.

Una buena idea es la formación de corredores verdes que consiste en crear una red de cubiertas vegetales, para unir de cierta manera las zonas con vegetación de la ciudad con las zonas verdes naturales de los alrededores como bosques, sierras, huerta, valles... formando así un espacio vegetado unificado. (Tarrida Llopis, 2010)

Además se pueden utilizar estas cubiertas para criar y proteger algunos animales en peligro. En la ciudad de Augustenborg, utilizan las azoteas para realizar actividades de apicultura, así a la vez que las abejas realizan sus tareas de polinización de plantas y tienen un lugar protegido para vivir, los habitantes obtienen miel. (Tarrida Llopis, 2010)

#### **5.5.2. EN LA EDIFICACIÓN:**

a) Mejora del aislamiento térmico.

La capa de sustrato de los techos verdes proporciona una resistencia térmica adicional que reduce el intercambio de temperatura entre el interior y el exterior. Además las plantas generan una sombra que detiene el soleamiento directo sobre la superficie de la cubierta, disminuyendo la temperatura de la capa de aire que hay justo encima de esta superficie.

Lo que sucede es que las cubiertas verdes disminuyen la absorción de calor en épocas calurosas, y la pérdida de calor del edificio en temporada de frío. En las

zonas cálidas tiene mayor importancia el efecto de enfriamiento que produce este tipo de cubiertas.(Minke, 2004)

Según menciona Gernot Minke en 2004 en su libro sobre cubiertas verdes, en Alemania se comprobó reiteradamente, que para temperaturas en el exterior de 30°C, la temperatura del sustrato de la cubierta verde no subía por encima de 25°C. Esto sucede a causa de la sombra que produce la vegetación, que reduce la radiación que llega al sustrato; y a causa de la energía solar que las plantas absorben para realizar la evapotranspiración.

Además esta retención del traspaso de calor que generan las cubiertas verdes está relacionada con la disminución del consumo energético. Un estudio publicado por Karen Liu y Bas Baskaran en 2003, concluyó que una cubierta verde de importantes dimensiones redujo la demanda diaria de energía para el aire acondicionado de un edificio en ambiente mediterráneo, en la época más calurosa en más del 75%.

#### b) Aumento de la vida útil de la impermeabilización.

La impermeabilización es parte fundamental para mantener la estanqueidad de las cubiertas. Los grandes cambios de temperatura que sufre esta capa producen el desgaste de la misma, y la necesidad de cambiarla cada cierto tiempo.

Con la cubierta vegetal aumenta la vida de la impermeabilización ya que la variabilidad y la incidencia del calor y la radiación, en la capa impermeable, es mucho menor. El cambio de esta membrana por una nueva se hará años más tarde que la de una cubierta de otro tipo.

Esto, a su vez, hace que la generación de residuos de láminas impermeables sea menor en este tipo de cubiertas.

Además, la capa de sustrato y la vegetación amortiguan la temperatura que llega a la membrana impermeable de forma más eficaz que cualquier otro tipo de

terminación. El sustrato proporciona un poco de aislamiento, pero la característica más importante que controla la temperatura que llega a la membrana impermeable es el gran aporte de inercia térmica, que proporciona la masa de tierra.

En Alemania, según el 2º informe de daños en la construcción del Ministerio Federal para Ordenamiento de Espacios, Construcción y Urbanismo, se estableció que mientras que el 80% de las cubiertas planas después de 5 años de ser construidas, presentaron los primeros daños. Sin embargo, una cubierta verde, con una correcta elección de la impermeabilización y una buena ejecución de las uniones, tiene una vida útil casi interminable, según expone Gernot Minke en el libro sobre cubiertas verdes en 2004.

Las siguientes figuras representan la fluctuación de temperaturas de una cubierta no ajardinada (figura 5.20) y de otra ajardinada (figura 5.21), respectivamente, donde se puede apreciar la amortiguación que el sustrato y la vegetación generan.

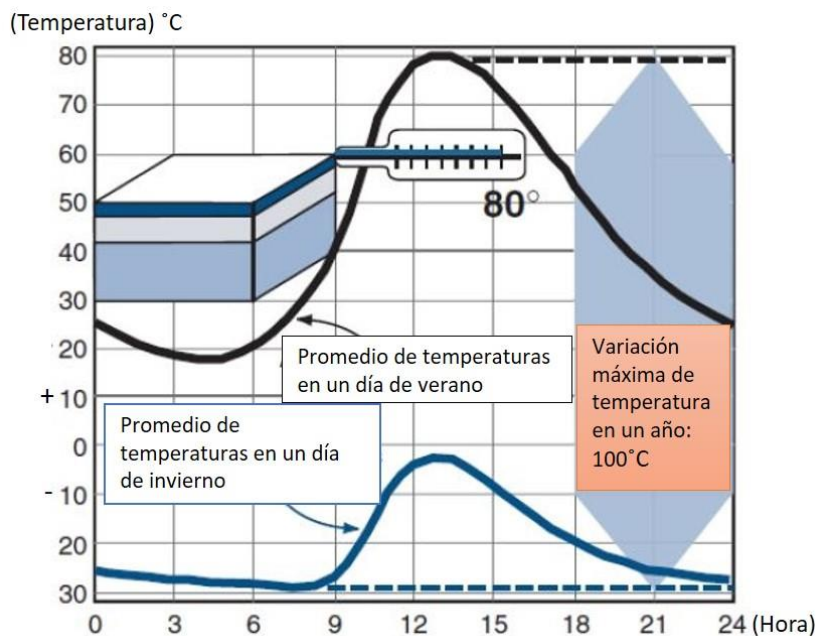


Fig. 5.20: Máxima variación de temperatura en cubierta no ajardinada

(Fuente:(García, 2010))

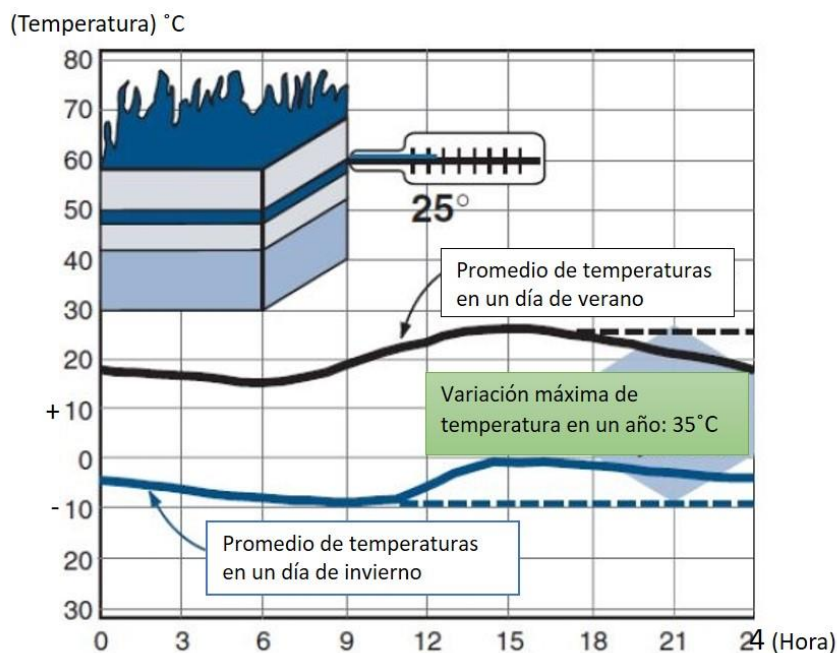


Fig. 5.21: Máxima variación de temperatura en cubierta ajardinada

(Fuente:(Garcia, 2010))

### c) Mejora del aislamiento acústico.

Las plantas y el sustrato que conforman la capa de acabado de la cubierta vegetal, actúan como una barrera frente al ruido, y son capaces de absorber parte de las ondas de sonido que en ella inciden. Sobre todo en las ciudades, que el nivel de ruido suele ser elevado, estas cubiertas actúan de atenuante frente al sonido, haciendo disminuir el nivel sonoro que llega al interior de los edificios y mejorando su aislamiento acústico. Según Gernott Minke comenta en 2004, la absorción acústica de la capa de tierra para un espesor de 12 cm asciende aproximadamente a 40 dB, y para un espesor de 20 cm, aproximadamente a 46 dB. (Minke, 2004)

### d) Generadores de agua caliente sanitaria y energía solar fotovoltaica.

Las plantas alrededor de los paneles generadores de energía, mejoran su rendimiento. Lo que ocurre es que la vegetación de la superficie de la cubierta enfría los paneles por la propia evapotranspiración de las plantas, así pues los paneles pueden generar hasta un 16 % más de energía que los situados en cualquier otro

tipo de cubierta. Además las plantas son capaces de retener sustancias en suspensión en el aire, minimizando así las partículas que se puedan fijar a la superficie receptora de los paneles y que también disminuyen su rendimiento. (Barcelona Ayuntamiento, 2015)

#### e) Gestión de aguas pluviales.

La capacidad que tienen el sustrato y la vegetación de retener el agua que a ellas llega, disminuye considerablemente el volumen de agua que se vierte al alcantarillado por escorrentía. Una azotea verde de 5 cm de espesor, se ha demostrado que absorbe y evapora el 50% de la precipitación anual, según menciona Marçal Tarrida Llopis en su trabajo en 2010.

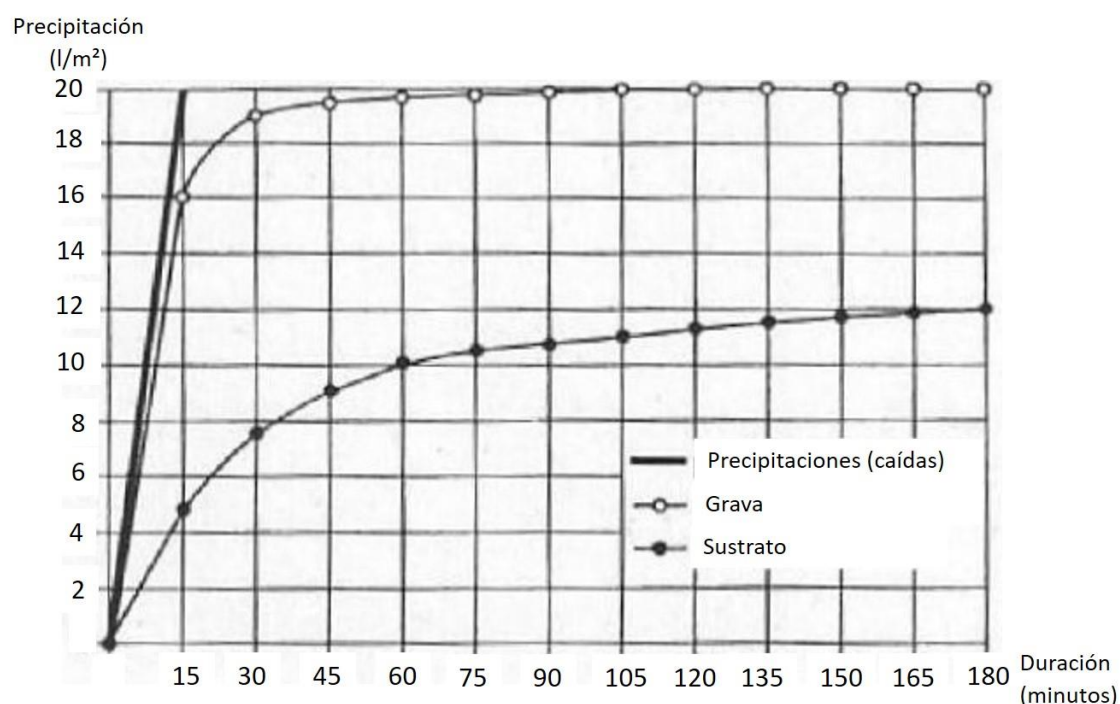


Fig. 5.22: Comparación de desagüe pluvial, de cubierta verde con sustrato de 10 cm de espesor, con cubierta planas con grava.

(Fuente: (Minke, 2004))

La figura 5.22 muestra el gráfico de un ensayo del Instituto del Estado Federado de Baviera para viticultura y horticultura en Veitshöchheim. En el estudio se midió que en una cubierta verde con una capa de sustrato de sólo 10 cm de espesor, para una intensidad de lluvia de 20 l/m<sup>2</sup> en 15 minutos, solamente desaguaba 5 l/m<sup>2</sup>; sin embargo, la cubierta de grava desaguaba 16 l/m<sup>2</sup>.

Además, al quedar gran cantidad del agua retenida en el sustrato, también disminuye la velocidad con que el agua llega al alcantarillado, porque hasta que el sustrato no se satura, el sistema de cubierta no empieza a verter agua a la red. Por lo tanto, se disminuye la presión del agua que llega a la red de alcantarillado evitando su saturación, sobretodo en épocas lluviosas.

No sólo el sustrato disminuye la cantidad de agua que llega al alcantarillado, también las plantas realizan parte del trabajo, ya que retienen parte del agua que les llega, y por el proceso de transpiración la van expulsando a la atmósfera. (Tarrida Llopis, 2010)

Además, las plantas y el sustrato actúan de filtro para el agua de lluvia que pasa por ellas, reteniendo partículas contaminantes y elementos nocivos que el agua arrastra del aire, por lo tanto el agua que al final se vierte al alcantarillado está filtrada por la cubierta. (Andrés & Gutiérrez, 2008)

#### f) Buen comportamiento frente al fuego.

Las cubiertas verdes son clasificadas como incombustibles en algunos países como Alemania, por la resistencia contra el fuego que ofrece este tipo de cubiertas. (García, 2010). El buen comportamiento frente al fuego que ofrecen las cubiertas verdes, es debido al agua existente en el interior de las propias plantas y en el sustrato, que disminuyen la propagación del fuego. (Danosa, 2014)

g) Incremento del valor del edificio.

Una cubierta verde aporta mayor valor al edificio, puesto que forma parte de las bases de la arquitectura sostenible, pero además crea espacios en los que se puede promover el ocio, el cultivo urbano y demás actividades y usos, aportando una gran belleza al entorno urbano.

Esto puede fomentar la venta de los edificios que poseen este tipo de envolvente, por el creciente interés y necesidad de la sostenibilidad del medio natural, además del aumento del valor de los inmuebles.

### 5.5.3. SOCIALES Y URBANOS:

a) Mejora del paisaje urbano.

El paisaje urbano cambiaría drásticamente si se construyeran cubiertas verdes en todos o en la mayoría de los edificios. En las zonas industriales sería una forma darle un uso y una buena imagen a las grandes superficies que ocupan estos parques, creando espacios verdes y embelleciendo el paisaje.

b) Calidad de vida.

Las plantas y la naturaleza en sí tienen una gran influencia terapéutica frente a la reducción de estrés, a la producción en el trabajo y hasta en la recuperación de un paciente.(Tarrida Llopis, 2010)

En varios hospitales de Pennsylvania se ha aplicado el uso de cubiertas verdes y la exposición al medio natural como terapia para la recuperación de pacientes. Y tras un estudio realizado por Roger S. Ulrich en 1984, resultó de forma demostrada la influencia que tienen las vistas y el contacto con la vegetación, en los tiempos de recuperación de los pacientes, tras las operaciones quirúrgicas.

c) Accesibilidad a la agricultura urbana.

La agricultura urbana cada vez tiene mayor importancia, sobre todo en las grandes ciudades, por el actual interés hacia los productos ecológicos y cultivados por el propio consumidor. Pero el espacio de terreno cultivable es reducido o inexistente en las urbes. Las cubiertas verdes son el lugar idóneo para potenciar el cultivo de productos en el medio urbano para el autoconsumo, como recreo o incluso para su venta.(Barcelona Ayuntamiento, 2015)

La gran cantidad de beneficios que ofrecen las cubiertas verdes sirve para proponer un uso más generalizado de este tipo de cubiertas. Desde los beneficios que aporta para el medio ambiente, que se transcriben en una menor contaminación ambiental; además de los beneficios sociales de tener unas ciudades más verdes y limpias; y los beneficios para el edificio, que al final se transforman en ahorro económico, son lo suficiente importantes para promover la implantación de las cubiertas vegetales en las terrazas de las edificaciones de las ciudades.



## **6. CRITERIOS DE SELECCIÓN. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DE UNA CUBIERTA VERDE.**

### **6.1. INERCIA TÉRMICA**

La cubierta es la parte del edificio que más radiación solar recibe, y por consiguiente, el lugar donde se produce el mayor intercambio de calor. El cerramiento de cubierta, que está expuesto a los cambios de temperatura exterior, a la radiación solar y demás aspectos climáticos, regula las temperaturas internas absorbiendo o cediendo calor, según la temperatura del ambiente.

Cuando el cerramiento está sometido por su cara exterior a una elevada temperatura, y la temperatura interior es inferior a la exterior, se genera un flujo de calor hacia el interior. Según este flujo de calor va atravesando las distintas capas que forman la cubierta, estas también se van calentando. Cuando la capa más al exterior se calienta, transmite el calor a la siguiente capa, y así sucesivamente, recibiendo cada capa menos calor que la anterior por la disminución del flujo de calor.

Gran cantidad del calor que atraviesa las capas es acumulado en ellas, y una parte que no se puede retener, se transmite al interior de la edificación.

En las noches y con las bajadas de las temperaturas, el cerramiento cede calor hacia el interior y hacia el exterior. Al disminuir la temperatura del aire que está en contacto con la superficie de la cubierta, se produce una pérdida de calor acumulado en ella: es el efecto de inercia térmica. (Britto Correa, 2001)

La inercia térmica se puede traducir en acumulación de energía. A mayor inercia térmica, mayor capacidad de acumular energía y esta energía acumulada disminuye los intercambios de temperaturas con el exterior.

Un buen ejemplo del efecto de la inercia térmica sobre una edificación son las construcciones enterradas o semienterradas como las cuevas; en invierno, en su interior la temperatura se mantiene cálida, mientras en el exterior es fría; y en verano con el calor sucede lo contrario. (Britto Correa, 2001)

Este efecto de inercia térmica también tiene lugar sobre las cubiertas vegetales a causa de la capa de sustrato que poseen, más la vegetación que alberga, de forma similar a las construcciones enterradas o cuevas. (Britto Correa, 2001)

La vegetación, la capa de sustrato, la baja conductividad térmica y la capacidad aislante, y el aire que hay entre las hojas y el sustrato ofrecen la resistencia térmica necesaria para disminuir el intercambio de temperatura entre el interior y el exterior. (Carrera, 2011)

Estas cubiertas son capaces de acumular la energía necesaria y permitir los intercambios para regular la temperatura entre las distintas horas del día, manteniendo la edificación con una temperatura de confort, en todas las épocas del año.

Para conseguir una inercia térmica idónea con cubierta vegetal para los climas templados, no es interesante colocar una gran capa de aislamiento térmico con una gran conductividad térmica, que retiene el flujo de calor, y durante la noche no permite enfriarse al edificio en verano. (Garrido Talavera, 2011)

## **6.2. FLUJOS DE CALOR**

En las cubiertas verdes se producen unos flujos de calor a causa del enfriamiento pasivo y la evapotranspiración de las plantas, que son de fundamental importancia para que la cubierta realice los intercambios energéticos entre la edificación y el medio exterior. (Grupo técnico de techos verdes, 2010)

Diversos estudios han demostrado al comparar los flujos que ocurren en una cubierta tradicional con otra de tipo ajardinada, que la variación de temperatura de una cubierta tradicional es muy amplia, mientras las cubiertas ajardinadas realizan una variación atenuada, mantienen su flujo térmico prácticamente fijo. Además estas cubiertas actúan como enfriadores pasivos, liberando parte del calor del edificio al medio exterior. (Grupo técnico de techos verdes, 2010)

Por ejemplo, la Universidad de Córdoba, Bonterra Ibérica y Paisajes del Sur, realizaron un proyecto de estudio de flujos de energía de una cubierta verde comparada con otra tradicional, en una zona climática cálida, muy similar al de Alicante. Se observó en la cubierta verde una reducción de entre el 66,4% y 86,2% en ganancias de calor, del exterior al edificio, y una reducción del 64,4% al 81,7% en pérdidas energéticas. (Universidad de Córdoba, Bonterra Ibérica, & Paisajes del Sur, 2015)

Estos resultados se traducen en que las cubiertas verdes actúan a modo de elementos pasivos, disminuyendo de forma importante sobre todo las ganancias de calor durante las temporadas de verano. (Universidad de Córdoba et al., 2015)

La figura 6.1 muestra la temperatura existente en verano bajo la capa de sustrato y bajo la vegetación, mediciones realizadas en una cubierta verde en Kassel, Alemania. Se trata de un sustrato de 16 cm de espesor con vegetación, sobre los que se midieron estos parámetros. Con una temperatura al medio día, al exterior de 30°C, la vegetación alcanza los 23°C y bajo el sustrato el dato de la temperatura es de 17.5°C.

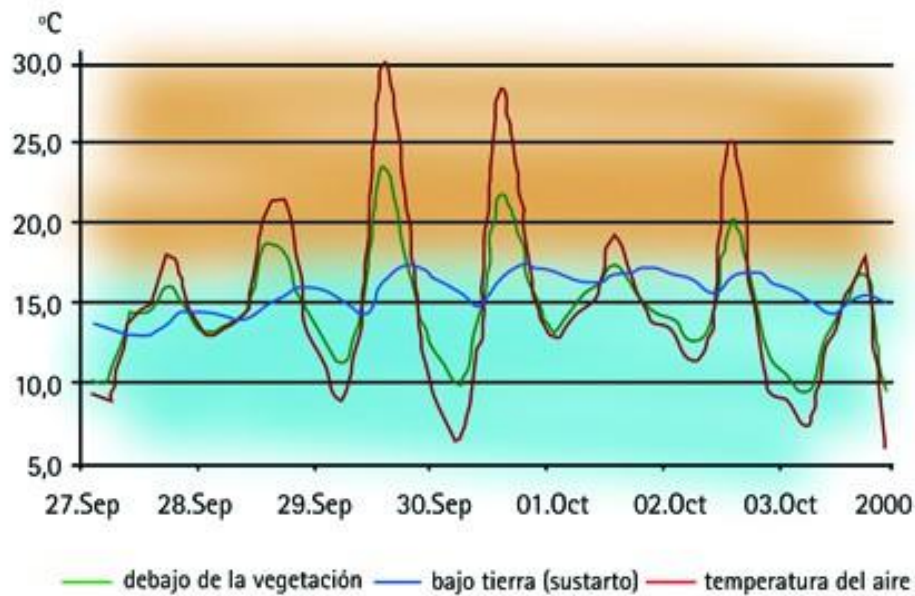


Fig. 6.1: Temperatura bajo el sustrato en verano.  
(Fuente: [www.ecohabitar.org](http://www.ecohabitar.org))

En la figura 6.2 Las mediciones recopiladas pero en época de invierno, recogen que con una temperatura al exterior de  $-14^{\circ}\text{C}$ , bajo el sustrato la temperatura es de  $0^{\circ}\text{C}$

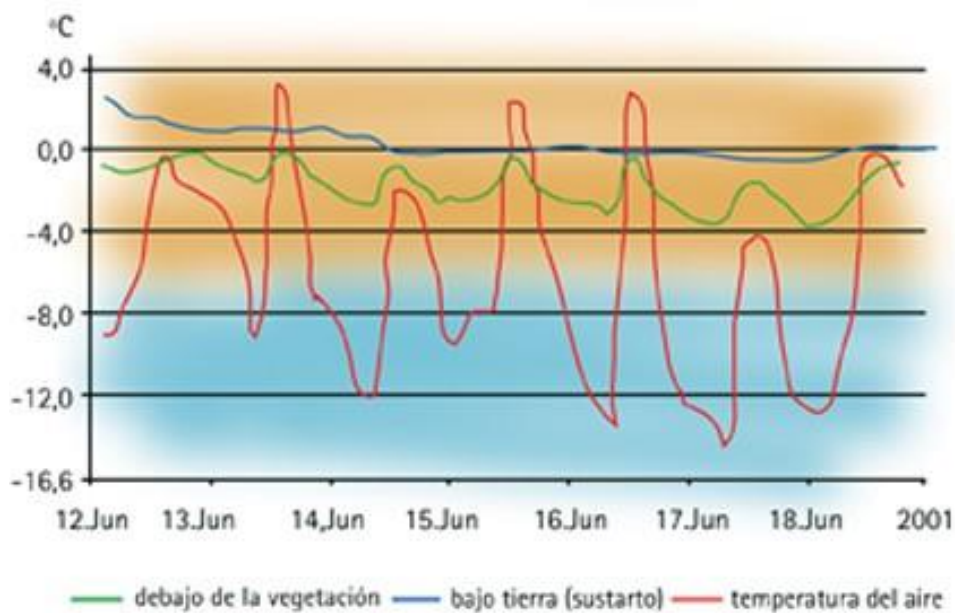


Fig. 6.2: Temperatura bajo el sustrato en invierno.  
(Fuente: [www.ecohabitar.org](http://www.ecohabitar.org))

Las curvas de las dos figuras anteriores reflejan que una cubierta verde en verano, tiene un efecto de enfriamiento considerable, y en invierno muestra un muy buen efecto de aislación térmica. (Garcia, 2010)

Por ello la cubierta verde, al reducir el flujo de calor de intercambio, reduce de forma importante el gasto energético para climatizar los espacios interiores de los edificios, sobretodo en épocas de calor, en climas cálidos (Grupo técnico de techos verdes, 2010)

Esta funcionalidad de las cubiertas verdes tiene gran importancia en épocas de verano en climas cálidos, como el de la provincia de Alicante, ya que disminuye la energía transferida entre el edificio y el exterior. Pero también pueden reducir las pérdidas energéticas en otras épocas del año.

Por lo tanto, la atenuación del flujo de calor reduce la energía necesaria para climatizar las estancias del edificio y con ello, disminuyendo de forma importante el gasto energético que se necesita para ello. (Grupo técnico de techos verdes, 2010)

Así pues, con una cubierta verde se puede mejorar el comportamiento energético del edificio, que disminuye la necesidad de refrescarlo artificialmente.

Las cubiertas verdes, en cuanto a su funcionalidad energética, se consideran como elementos pasivos que modifican las transferencias térmicas entre el exterior y el interior de los edificios, aumentan la inercia térmica y los valores de temperatura soportados por la propia cubierta. (Universidad de Córdoba et al., 2015)

Las cubiertas verdes, con su función de regulación de la temperatura interior de las edificaciones, mediante sus flujos de intercambio energéticos, ayudan a reducir la cantidad de energía que se necesita para climatizar las estancias interiores, y con ello, el gasto económico y la contaminación medioambiental que esto genera. (Universidad de Córdoba et al., 2015)

Un estudio realizado, por ZinZi y Agnoli en 2012, con el uso de cubiertas verdes en climas de tipo mediterráneo, arrojó que la demanda energética durante los periodos de verano se puede reducir a la mitad, con el uso de este tipo de cubiertas. (Zinzi & Agnoli, 2012)

Pero el ahorro energético que las cubiertas causan sobre los edificios depende de varios factores como el tipo de edificio, la zona climática, el tipo de vegetación, el espesor del sustrato y el tipo de cubierta verde.

Aún sin obtener estos datos en cada caso específico, con una cubierta verde se aseguran unos beneficios energéticos importantes, debido a la reducción de las ganancias energéticas a través de la cubierta del edificio y al aumento de la inercia térmica de la cubierta que incrementa la amortiguación térmica. (Grupo técnico de techos verdes, 2010)

Uno de los factores fundamentales para conocer el comportamiento energético de las cubiertas vegetales a través de la transmitancia térmica del elemento, es la conductividad térmica del sustrato y la vegetación. Esta conductividad térmica es la cantidad de energía que transmite la capa de sustrato a las capas inferiores, o en general la cantidad de calor que transmite cada capa.

La contribución que las plantas generan sobre la cubierta en sus procesos biológicos, está influenciado en el cálculo de la conductividad térmica de una cubierta vegetal.

La vegetación no influye directamente sobre el aislamiento térmico de la cubierta vegetal, pero sí que actúa de buena manera en los flujos de energía térmica de este tipo de cubiertas. Para realizar sus ciclos fisiológicos, las plantas absorben parte de la radiación que a ellas llega, para cada una de sus funciones como muestra la figura 6.3, disminuyendo así la radiación directa que llega a la cubierta.

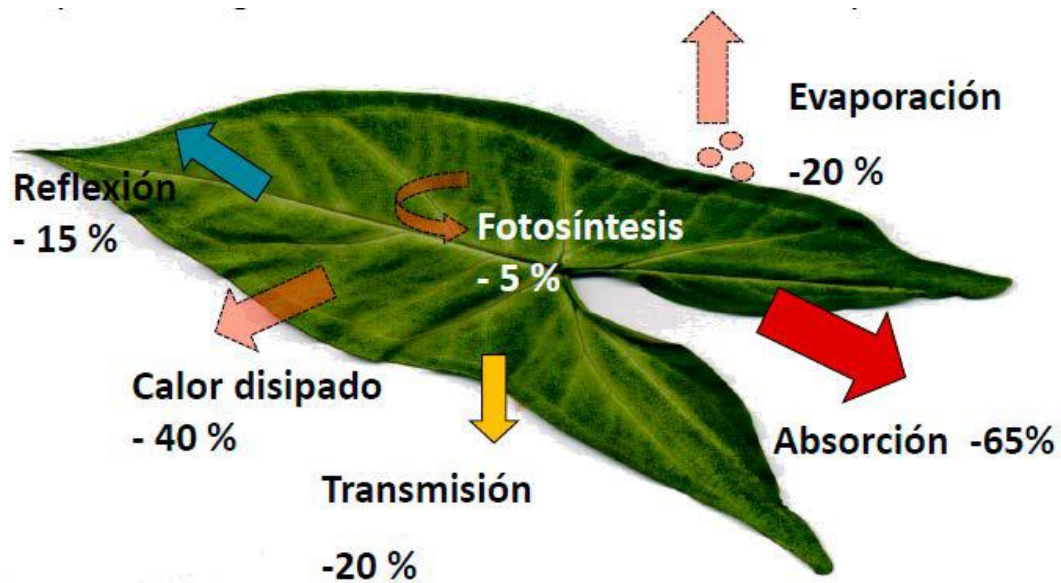


Fig. 6.3: Uso de la radiación recibida por parte de las plantas.

Fuente: (García Valera, 2016)

Para conocer el valor de la conductividad térmica de una cubierta ajardinada, se toma como base un estudio realizado con modelos experimentales y sistemas de simulación calcula la conductividad térmica equivalente de una cubierta ajardinada. Al compararla con los datos experimentales obtenidos mediante toma de datos y mediciones con sensores, se llega a la conclusión de que el valor era el mismo en ambos casos, al ser despreciable el error obtenido. La contribución que las plantas generan sobre la cubierta en sus procesos biológicos, se tuvo en cuenta en el cálculo de la conductividad térmica de la cubierta vegetal.

El estudio está realizado teniendo en cuenta el comportamiento energético de la capa de sustrato y de la vegetación durante sus funciones fisiológicas, con el medio que le rodea. Los aspectos que se tienen en cuenta son: el balance energético entre la cubierta vegetal y las condiciones exteriores, la evapotranspiración de la vegetación, la resistencia aerodinámica, la altura de desplazamiento y el coeficiente

de rugosidad, la constante psicométrica, la transferencia de calor por convección y la transferencia de calor de los materiales que conforman la cubierta.

Con esto se llegó a concluir el cálculo del valor de la conductividad térmica de una cubierta vegetal, obteniendo un valor de  $0.12 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ . (Machado, Brito, & Neila, 2003)

Sin embargo si se habla de la transmitancia térmica, se trata de la medida del calor que fluye por la superficie de la cubierta. Es un valor que se obtiene a partir del valor de la conductividad térmica y del espesor de cada capa de formación de la cubierta, y sirve para conocer el comportamiento energético de la cubierta vegetal

### **6.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN DE LAS PLANTAS**

La vegetación por sí sola no genera casi ningún aporte térmico en épocas de frío. De lo contrario, en verano y con clima cálido, contribuye de buena manera con el aislamiento térmico. El espacio que queda bajo las plantas y entre el sustrato, más el sombraje que ellas mismas producen, actúan a modo de espacio ventilado. (Minke, 2004)

Por lo tanto, una cobertura vegetal situada sobre la envolvente de las edificaciones ayuda a mantener la uniformidad de la temperatura, como se observa en las siguientes imágenes. La figura 6.4 representa una imagen térmica de una fachada vegetal, junto a una fachada de ladrillo caravista, en la que se observa como en el jardín vertical se mantiene la uniformidad de la temperatura, mientras que en la fachada de ladrillo caravista se crean puentes térmicos, además de que la temperatura sobre la superficie de la envolvente es más elevada que en el caso de la cubierta ajardinada.





Fig. 6.4: Imagen térmica de un jardín vertical (izq.), junto a una fachada de ladrillo caravista (dcha.)  
(Fuente: Encarnación García González)

Lo mismo ocurre en la figura 6.5, ya que se trata de una fachada de ladrillo caravista y en ella se pueden apreciar los puentes térmicos generados.

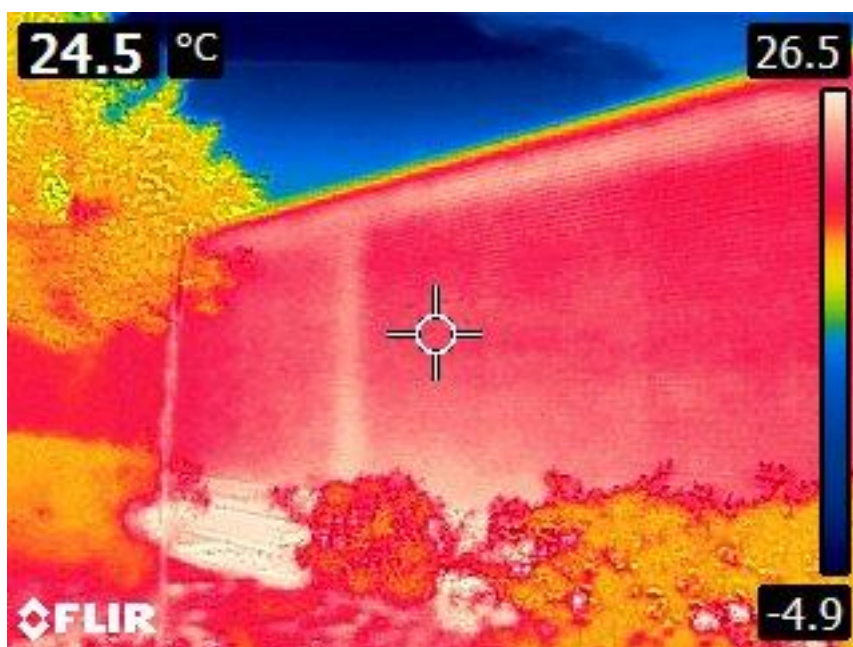


Fig. 6.5: Imagen térmica de la fachada de ladrillo caravista de la biblioteca de la Universidad de Alicante.

(Fuente: Encarnación García González)

Con lo cual, en zonas cálidas la vegetación actúa de forma pasiva refrigerando la cubierta del edificio, y con ello contribuyendo a la reducción de la demanda energética. Además de crear estos espacios ventilados, la vegetación en el proceso de evaporación, consume energía en forma de calor que no será transmitida a la cubierta. (Carrera, 2011)

Por lo tanto, la evapotranspiración las plantas realizan en sus procesos biológicos, reduce la temperatura que soporta la cubierta y también modifica la transferencia energética entre el entorno y el edificio. (Universidad de Córdoba et al., 2015)

#### **6.4. CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS**

La provincia de Alicante se encuentra en el área climática mediterránea occidental, donde predomina el clima cálido.

En general se trata de una zona en la que las estaciones de frío son cortas pero intensas, las precipitaciones son escasas en días pero abundantes en cantidad. En las épocas calurosas durante las horas de sol, la temperatura alcanza valores muy elevados, y por la noche la temperatura no desciende demasiado.

Según la recopilación de datos para la provincia de Alicante, realizada por Aemet, en el período de 1981 a 2010, a través de los cuales se obtienen valores climáticos medios que sirven para analizar el clima de la zona. A continuación en la tabla 6.1, se muestran estos valores medios de temperatura, precipitaciones, humedad, soleamiento y demás factores climáticos de la provincia de Alicante.

Mes	T	TM	Tm	R	H	DR	DN	DT	DF	DH	DD	I
Enero	11.6	16.7	6.5	21	61	3.6	0.0	0.4	0.3	0.5	7.4	184
Febrero	12.3	17.4	7.1	20	61	2.9	0.0	0.5	1.0	0.2	5.7	179
Marzo	14.0	19.4	8.7	20	60	3.1	0.0	0.5	1.1	0.1	5.8	221
Abril	15.9	21.1	10.7	27	57	3.7	0.0	1.4	0.6	0.0	4.9	251
Mayo	18.9	23.8	13.9	28	59	3.7	0.0	2.0	0.3	0.0	5.1	291
Junio	22.8	27.6	18.0	10	58	1.6	0.0	1.5	0.2	0.0	8.8	316
Julio	25.5	30.1	20.8	4	59	0.7	0.0	0.8	0.1	0.0	14.5	344
Agosto	26.1	30.7	21.5	5	61	0.9	0.0	1.1	0.1	0.0	11.2	313
Septiembre	23.8	28.5	19.0	40	63	3.3	0.0	3.1	0.1	0.0	5.6	243
Octubre	19.8	24.7	14.9	46	64	4.1	0.0	2.0	0.4	0.0	4.4	218
Noviembre	15.4	20.3	10.6	34	64	3.8	0.0	0.7	0.2	0.0	5.5	174
Diciembre	12.5	17.3	7.5	22	63	3.7	0.0	0.4	0.4	0.1	6.1	165
<b>Año</b>	<b>18.2</b>	<b>23.2</b>	<b>13.3</b>	<b>277</b>	<b>61</b>	<b>35.1</b>	<b>0.0</b>	<b>14.5</b>	<b>4.7</b>	<b>0.8</b>	<b>84.4</b>	<b>2953</b>

Tabla 6.1: Valores climatológicos normales. Alicante (aeropuerto). (Los valores se han obtenido de las series originales no sometidas a tratamientos de homogeneización ni relleno de lagunas.)

(Fuente: aemet.es)

La siguiente leyenda sirve para conocer los diminutivos aplicados en la tabla anterior.

Leyenda:

T: Temperatura media mensual/anual (°C); TM: Media mensual/anual de las temperaturas máximas diarias (°C); Tm: Media mensual/anual de las temperaturas mínimas diarias (°C); R: Precipitación mensual/anual media (mm); H: Humedad relativa media (%); DR: Número medio mensual/anual de días de precipitación superior o igual a 1 mm; DN: Número medio mensual/anual de días de nieve; DT: Número medio mensual/anual de días de tormenta; DF: Número medio mensual/anual de días de niebla; DH: Número medio mensual/anual de días de helada; DD: Número medio mensual/anual de días despejados; I: Número medio mensual/anual de horas de sol

Y en la tabla 6.2, se recogen valores extremos de estos factores, que se han dado en la provincia hasta el momento.

Temperatura máxima absoluta	38.9 °C (27 Ago. 2010)
Temperatura mínima absoluta	-0.3 °C (13 Feb. 2012)
Intensidad máxima de precipitación	217.4 mm/h (20 Sep. 2009)
Racha máxima de viento	90.1Km/h (24 Ene. 2009)
Dirección media del viento	187.1 °

Tabla 6.2: Resumen climatológico de valores extremos

(Fuente: meteodata.org/serie/universidad\_alicante)

Los datos climáticos recogidos en las dos tablas anteriores, sirven para conocer el ambiente climático sobre el que se va a implantar la cubierta verde en la provincia de Alicante. Para ello se describen a continuación los factores climáticos de mayor relevancia para el estudio a realizar.

Humedad: La zona se encuentra bordeada por el mar, lo que genera una elevada humedad media anual, con una media del 61% de humedad relativa. Esta humedad ambiental aumenta la sensación térmica, de frío durante el invierno, y de calor durante el verano.

Viento: La cercanía al mar también propicia que la provincia tenga muchos días de viento al año. Las fuertes rachas alcanzan en ocasiones los 90 Km/h.

Temperatura: La temperatura media anual es de los 18.2 °C. Las temperaturas son muy elevadas en los meses de verano, sobre todo agosto que es el mes con el registro de temperaturas más elevadas, llegando a alcanzar los 38.9 °C. En invierno los valores mínimos llegan en ocasiones a descender por debajo de los 0°C.

En la siguiente figura se puede observar el climograma de Alicante donde se recogen, en barras, las lluvias caídas durante los distintos meses del año, y con la línea roja, se representa la curva que forma la temperatura media mensual.

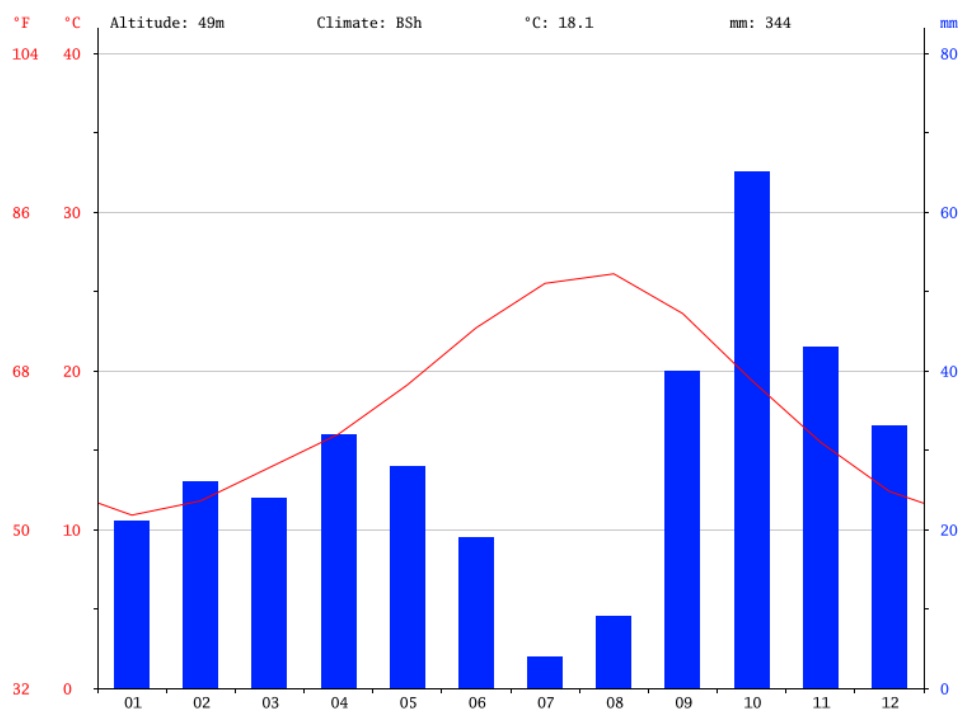


Fig. 6.6: Climograma de Alicante  
(Fuente: es.climate-data.org)

Precipitación: La zona del sur-este mediterráneo es una de las más secas en cuanto a precipitaciones se refiere, aunque cuando llueve suele ser en forma de tormenta y con una gran cantidad de agua en poco tiempo. Alicante tiene una media anual de precipitación total de 277 mm, con intensidad máxima que ha llegado a alcanzar unos 217 mm/h. Sin embargo también suceden grandes periodos de sequía.

Horas de sol: Pero el dato climático por excelencia de la provincia de alicante es las horas de sol que la zona tiene al año. La media alcanza unas 2953 horas de sol al año. Es una de las zonas de España con más horas de sol anuales.

Estos factores son de máxima importancia a la hora de hacer la selección del tipo de cubierta verde, ya que inciden directamente sobre la vegetación y el sustrato, e influyen de manera importante en el desarrollo y la supervivencia de la vegetación.

Las características principales de la zona climática de la provincia de alicante son: un clima en general cálido, predominio de las horas de sol al año, escasas

precipitaciones pero en forma de tormentas, humedad elevada, amplia variación de la temperatura entre las distintas estaciones, con épocas medianamente cortas de frío, y largas temporadas de clima cálidas con temperaturas muy elevadas.

El CTE hace una clasificación por zonas climáticas de las distintas provincias, en la que la provincia de Alicante se encuentra clasificada como zona climática B4. Esto sirve para limitar la demanda energética en cada zona según las condiciones del clima.

Desde este aspecto energético, cabe destacar que la provincia de Alicante consume gran parte de la energía anual, en refrigeración mediante aire acondicionado. Esto se hace visible con la gran cantidad de consejos sobre ahorro en aire acondicionado que los medios de comunicación hacen cada año en épocas de verano, como el diario Información en su edición del 8 de Junio de 2017. Esto se debe al clima caluroso de larga duración que predomina en la provincia.

Con este clima seco, mucho calor y poca lluvia, el sustrato de una cubierta verde debe retener la mayor cantidad de agua el máximo tiempo; y la vegetación por otro lado, debe aguantar altas temperaturas en verano, largas épocas de sequía, fuertes rachas de viento y temperaturas gélidas en invierno.

## **7. PROPUESTA DE UN SISTEMAS DE CUBIERTA VERDE PARA LA PROVINCIA DE ALICANTE**

### **7.1. SISTEMAS DE CUBIERTAS VERDES**

Se puede pensar que la cubierta extensiva podría ser la mejor opción a adoptar de forma generalizada para la provincia de Alicante, por su bajo mantenimiento y riego, por su bajo coste o por el poco peso que aporta de sobrecarga a la estructura. (Ibáñez, 2008)

Lo que ocurre es que las cubiertas extensivas en el área mediterránea tienen como especie más común las plantas del género *Sedum*, bien adaptadas a la sequía, se propagan bien, desarrollan cierta cobertura y tienen escaso crecimiento. Pero esta cobertura no es uniforme, tampoco regular en las diferentes estaciones y posee una escasa superficie de hoja. (Vestrella, 2015)

Esta razón motiva a buscar otras especies de plantas de mayor densidad, ocupación y durabilidad anual, y que además sean comunes en la zona, para mejorar así el funcionamiento de la cubierta.

El área mediterránea en el que se encuentra la provincia de Alicante es una zona muy rica en variedad de vegetación. Pero, para una cubierta ajardinada, se debe elegir una vegetación densa con la mayor superficie de hoja posible, si se desea conseguir un mejor comportamiento energético del edificio. (Minke, 2004). La vegetación también debe contribuir de forma efectiva a la formación y al rendimiento de una cubierta vegetal. (Vestrella, 2015)

Además la vegetación típica de la zona mediterránea, que es por lo tanto la más adaptada al clima, está basada en arbustos y subarbusto, como son por ejemplo las plantas aromáticas con una gran resistencia a la sequía (Dunnett y Kingsbury, 2004), que tiene un gran potencial para usarlas como vegetación para las cubiertas

vegetales. Este tipo de vegetación necesita un espesor de sustrato entre 20 y 30 cm para poder crecer.

Según Marçal Tarrida Llopis comenta en su trabajo sobre cubiertas verdes en Augustenborg en 2010, la planta urbana ideal es la que respira mucho dióxido de carbono por las noches en su proceso de fotosíntesis, que necesita poca agua para sobrevivir, que tenga mucha cantidad de hoja y visualmente ofrezca mucho verde y que sean ligeras.

Basándose en la gran demanda energética de producción de refrigeración en las épocas de calor que se genera en la provincia de Alicante, es de mayor importancia proponer una cubierta vegetal que tenga la menor transmitancia térmica sin tener un gran espesor que genere un importante sobrepeso, para mejorar el comportamiento térmico de los edificios.

La finalidad es conseguir un buen aislamiento térmico durante las épocas frías y el mayor enfriamiento posible en temporadas de intensa radiación solar y calor, para reducir así el consumo energético tanto en invierno como en verano. (Minke, 2004)

La cubierta extensiva con vegetación *sedum* tiene buena capacidad aislante, pero su rendimiento es menor que el de una cubierta extensiva con vegetación densa, una semiintensiva o una intensiva, para la zona climática estudiada. (Minke, 2004)

Sin embargo las cubiertas intensivas, que suelen tener un espesor de sustrato mayor a 60 cm y una vegetación de gran porte, a pesar de sus buenas propiedades térmicas, tiene la desventaja de que crean una gran carga sobre la estructura la cual debe ser reforzada para soportar este peso.

Por este motivo las cubiertas intensivas se excluyen de la propuesta, ya que se opta por una cubierta extensiva o semiintensiva con abundante vegetación autóctona capaz de vivir sobre el espesor del sustrato estas cubiertas verdes, con un



buen comportamiento energético, sin necesidad de hacer una estructura más resistente.

Por lo tanto teniendo en cuenta este aspecto, se proponen las opciones de una cubierta extensiva con un espesor adecuado y una capa vegetal lo más densa posible, y una cubierta semiintensiva con la mismas características.

## **7.2. VEGETACIÓN**

Para la opción de cubiertas extensiva y semiintensiva, se disponen de los siguientes grupos de plantas sobre los que se proponen las especies vegetales a disponer en estas cubiertas verdes, para el clima de la provincia de Alicante:





La vegetación de la provincia de Alicante es muy amplia y variada. En este apartado se podría hacer una gran variedad de propuestas con diferentes especies de plantas. A continuación se proponen algunas de estas especies para conformar una cubierta verde extensiva y una semiintensiva. Se trata las plantas del tipo mediterráneo, de altura y enraizamiento controlados, y con gran adaptación a la sequía, que son además las más abundantes de forma silvestre en el ambiente de Alicante.





La propuesta se realiza sobre los grupos de plantas suculentas, herbáceas perennifolias, vivaces, cespitosas y subarborescentes y arbustiva, según su uso en cubiertas extensivas o semiintensivas.

### 7.2.1. CUBIERTAS EXTENSIVAS

#### Plantas suculentas.

Acumulan gran cantidad de agua en su interior para utilizarla en épocas de sequía, no necesitan apenas mantenimiento.

	<p><i>Aloe maculata</i></p> <p><b>Altura:</b> 10-40 cm (vegetación), 60-80 cm (floración). <b>Anchura:</b> hasta 40 cm cada roseta. <b>Hojas:</b> perennes. <b>Forma:</b> planta suculenta con hojas en roseta sobre tallos radicales de crecimiento horizontal. <b>Interés:</b> Muy tolerante a diferentes ambientes. <b>Floración:</b> invierno y primavera.</p>
	<p><i>Aloe variegata</i></p> <p><b>Altura:</b> 10-25 cm. <b>Anchura:</b> 15-30 cm. <b>Hojas:</b> perennes. <b>Forma:</b> roseta acaule, planta de hojas suculentas que se ramifica basalmente formando colonias. <b>Interés:</b> hojas verde oscuro o marrón con manchas de color blanco, flores anaranjadas. <b>Floración:</b> final invierno y primavera.</p>
	<p><i>Aloe mitriformis</i></p> <p><b>Altura:</b> 20-40 cm. <b>Anchura:</b> 40-80cm. <b>Hojas:</b> perennes. <b>Forma:</b> planta suculenta hojas en roseta terminal sobre tallos foliosos, robustos, postrados, radicales, ramificados desde la base. <b>Interés:</b> muy tolerante a la sequía. <b>Floración:</b> primavera y principios de verano; flores de color rosa fuerte o anaranjado.</p>
	<p><i>Aloe x spinosissima</i></p> <p><b>Altura:</b> 10-30 cm. <b>Anchura:</b> 20-80 cm. <b>Hojas:</b> perennes. <b>Forma:</b> planta suculenta que ramifica desde la base formando densas colonias. <b>Interés:</b> hojas en rosetas persistentes gris azulado y. <b>Floración:</b> invierno, flores naranja intenso</p>

	<p><i>Sedum sediforme</i></p> <p><b>Altura:</b> 10-15 cm (hasta 30 cm en la floración). <b>Anchura:</b> 20-40 cm. <b>Porte:</b> herbáceo. <b>Hojas:</b> perennes. <b>Forma:</b> suculenta de tallos vegetativo cortos, radicales. <b>Interés:</b> Prefiere situaciones soleadas. Necesita poco suelo. Forma colonias. <b>Floración:</b> verano; color amarillo verdoso.</p>
	<p><i>Sempervivum tectorum</i></p> <p><b>Altura:</b> 5-10 cm (hasta 20 cm en la floración). <b>Anchura:</b> 20-40 cm. <b>Porte:</b> herbáceo. <b>Hojas:</b> perennes. <b>Forma:</b> rosetas de hojas suculentas que forman colonias por ramificación basal y estolones. <b>Interés:</b> Prefiere situaciones soleadas. <b>Floración:</b> principios de verano, solo florecen las rosetas más viejas y éstas mueren tras la floración; flores rosadas.</p>
	<p><i>Crassula multicava</i></p> <p><b>Altura:</b> 15-30 cm. <b>Anchura:</b> 30-60 cm. <b>Porte:</b> herbáceo o subarborescente. <b>Hojas:</b> perennes. <b>Forma:</b> suculenta de crecimiento bajo, tallos erectos. <b>Interés:</b> tolera los ambientes algo sombreados y es sensible a la insolación intensa. <b>Floración:</b> invierno y primavera; flores blancas o rosa pálido.</p>
	<p><i>Gasteria</i></p> <p><b>Altura:</b> 5-30 cm. <b>Anchura:</b> 10-40 cm. <b>Porte:</b> herbáceo. <b>Hojas:</b> perennes. <b>Forma:</b> suculentas en hojas dispuestas dísticamente o en rosetas. <b>Interés:</b> adecuadas para situaciones sombreadas. <b>Floración:</b> primavera a otoño, según la especie; naranja, salmón, rosado.</p>

(Fuente figuras 7.1, 7.2, 7.3, 7.4, 7.5, 7.6, 7.7 y 7.8: Jardinería Mediterráneo III, Catálogo de plantas.)

Herbáceas perennifolias, vivaces y cespitosas

Son plantas florales y densas.

	<p><i>Mentha pulegium</i></p> <p><b>Altura:</b> 10-40 cm. <b>Anchura:</b> 30-80 cm. <b>Porte:</b> herbáceo. <b>Hojas:</b> perennes (las basales). <b>Forma:</b> rizomatosa con tallos floríferos anuales, erectos. <b>Interés:</b> Vivaz de crecimiento rápido. <b>Floración:</b> verano; vegetación aromática, flores de color azul violeta.</p>
	<p><i>Melissa officinalis</i></p> <p><b>Altura:</b> 40-100 cm. <b>Anchura:</b> 40-80 cm. <b>Porte:</b> herbáceo. <b>Hojas:</b> perennes. <b>Forma:</b> tallos erectos, se renueva cada año desde la base; <b>Interés:</b> Vivaz aromática, semiperenne de crecimiento rápido; hojas con olor a limón. <b>Color de las flores:</b> blanco, poco conspicuas. <b>Floración:</b> verano; flores blancas.</p>
	<p><i>Origanum vulgare</i></p> <p><b>Altura:</b> 30-90 cm. <b>Anchura:</b> 30-60 cm. <b>Porte:</b> herbáceo. <b>Hojas:</b> perennes las basales. <b>Forma:</b> tallos floríferos erectos, que emergen de una base rizomatosa; follaje aromático. <b>Interés:</b> Crecimiento rápido. Prefiere situaciones soleadas o en semisombra. <b>Floración:</b> finales de verano; color rosado.</p>
	<p><i>Dicliptera suberecta</i></p> <p><b>Altura:</b> 30-50 cm. <b>Anchura:</b> 40-80 cm. <b>Porte:</b> herbáceo. <b>Hojas:</b> perennes o caducas. <b>Forma:</b> vivaz de hábito arbustivo, ramificación continuada desde la parte subterránea. <b>Interés:</b> Prefiere suelos secos y situaciones soleadas. Sensible al frío intenso. <b>Floración:</b> primavera a otoño; flores de color naranja intenso y vegetación plateada.</p>
	<p><i>Asparagus densiflorus</i></p> <p><b>Altura:</b> hasta 1 m. <b>Anchura:</b> hasta 1,5 m. <b>Porte:</b> mata herbácea o trepadora. <b>Hojas:</b> perennes. <b>Forma:</b> hábito variable, tallos desde erectos a decumbentes o trepadores. <b>Interés:</b> vegetación verde todo el año; tolerante a la sequía.</p>



	<p><i>Lotus cytisoides</i></p> <p><b>Altura:</b> 10-20 cm (sin soporte). <b>Anchura:</b> 40-100 cm. <b>Porte:</b> herbáceo. <b>Hojas:</b> perennes. <b>Forma:</b> tallos postrados, no radicales. <b>Interés:</b> Crecimiento rápido. Floración muy abundante; vegetación de color verde glauco. <b>Floración:</b> primavera; flores de color amarillo.</p>
	<p><i>Dianthus plumarius</i></p> <p><b>Altura:</b> 5-10 cm (30-40 cm en la floración). <b>Anchura:</b> 20-40 cm. <b>Porte:</b> herbáceo. <b>Hojas:</b> perennes. <b>Forma:</b> vivaz de crecimiento bajo, ramifica abundantemente. <b>Interés:</b> Prefiere situaciones soleadas. <b>Floración:</b> primavera; abundante y aromática, desde blanco a rosa intenso.</p>
	<p><i>Petunia 'Surfinia Giant Purple'</i></p> <p><b>Altura:</b> 5-20 cm. <b>Anchura:</b> 60-100 cm. <b>Porte:</b> herbáceo. <b>Hojas:</b> perennes. <b>Forma:</b> ramificación radial a partir de una base algo leñosa. <b>Interés:</b> Crecimiento rápido. Prefiere situaciones soleadas y riegos regulares en verano. <b>Floración:</b> primavera a otoño; flores grandes de color púrpura oscuro.</p>
	<p><i>Verbena</i></p> <p><b>Altura:</b> 10-20 cm. <b>Anchura:</b> 30-50 cm. <b>Porte:</b> herbáceo. <b>Hojas:</b> perennes. <b>Forma:</b> tallos herbáceos, postrados, radicales. <b>Interés:</b> Crecimiento rápido, floración prolongada. Situaciones soleadas. <b>Floración:</b> primavera a otoño; flores de color diverso en umbelas en el extremo de los tallos.</p>




(Fuente figuras 7.9, 7.10, 7.11, 7.12, 7.13, 7.14, 7.15, 7.16 y 7.17: Jardinería Mediterráneo III, Catálogo de plantas.)

### 7.2.2. CUBIERTAS SEMIINTENSIVAS

En cubiertas semiintensivas se emplearán todos los grupos de plantas anteriores (suculentas, herbáceas perennifolias, vivaces y cespitosas) y además los grupos expuestos a continuación.

#### Arbustivas y subarbustivas

Dentro de las cuales se encuentran muchas de las llamadas aromáticas. Crean ambientes de agradables e intensos aromas. En épocas de floración se cubren de vistosos y fuertes colores. Además, muchas de estas plantas se emplean en el ámbito culinario para aromatizar comidas o para hacer infusiones. Son muy comunes y abundantes, en la zona geográfica de la provincia de Alicante.

	<p><i>Rosmarinus officinalis</i></p> <p><b>Altura:</b> 0,3-1,5 m. <b>Anchura:</b> 0,6-3 m. <b>Porte:</b> arbustivo. <b>Hoja:</b> perenne. <b>Forma:</b> troncos principales definidos, cortos, muy ramificados, vegetación densa. <b>Interés:</b> Crecimiento rápido. Situaciones soleadas. Suelos secos. <b>Floración:</b> otoño a primavera; flores azules, rosadas o blancas, y aroma.</p>
	<p><i>Santolina chamaecyparissus</i></p> <p><b>Altura:</b> 20-40 cm. <b>Anchura:</b> 40-100 cm. <b>Porte:</b> arbustivo; <b>Hoja:</b> caduca. <b>Forma:</b> tronco principal definido, ramificado desde la base, hábito redondeado, vegetación regular. <b>Interés:</b> Crecimiento rápido. Situaciones soleadas. <b>Floración:</b> final de primavera y principio de verano; flores amarillas.</p>
	<p><i>Helichrysum italicum</i></p> <p><b>Altura:</b> 20-50 cm. <b>Anchura:</b> 30-60 cm. <b>Porte:</b> arbustivo. <b>Hojas:</b> perennes. <b>Forma:</b> plantas de forma redondeada, ramas verticales, abundantes. <b>Interés:</b> Requiere suelos secos, perfectamente drenados y situaciones soleadas. <b>Floración:</b> finales de primavera y principios de verano; flores amarillas y follaje gris plateado.</p>






	<p><i>Salvia lavandulifolia</i></p> <p><b>Altura:</b> 20-50 cm. <b>Anchura:</b> 30-80 cm. <b>Porte:</b> subarbustivo. <b>Hojas:</b> perennes. <b>Forma:</b> base leñosa con troncos cortos, numerosos. Ramas herbáceas erectas. <b>Interés:</b> Prefiere situaciones soleadas en suelos drenados, secos. <b>Floración:</b> primavera y verano; flores de color azul violáceo.</p>
	<p><i>Thymus vulgaris</i></p> <p><b>Altura:</b> 10-30 cm. <b>Anchura:</b> 30-60 cm. <b>Porte:</b> subarbustivo. <b>Hojas:</b> perennes. <b>Forma:</b> tallos principales postrados o decumbentes, pueden ser radicales, leñosos; aromática. <b>Interés:</b> Subarbusto de crecimiento bajo. Situaciones soleadas. <b>Floración:</b> primavera; flores de color rosado, aromáticas.</p>
	<p><i>Erica multiflora</i></p> <p><b>Altura:</b> 50-150 cm. <b>Anchura:</b> 50-100 cm. <b>Porte:</b> arbustivo. <b>Hojas:</b> perennes. <b>Forma:</b> ramificación basal con tallos erectos. <b>Interés:</b> Arbusto mediterráneo muy tolerante a la sequía. <b>Floración:</b> otoño; flores con diferentes tonos de rosa, a veces blancas.</p>
	<p><i>Teucrium capitatum</i></p> <p><b>Altura:</b> 10-50 cm. <b>Anchura:</b> 20-70 cm. <b>Porte:</b> arbustivo o subarbustivo. <b>Hojas:</b> perennes. <b>Forma:</b> tallo principal ramificado desde la base, forma pequeñas matas redondeadas. <b>Interés:</b> Crecimiento rápido. Situaciones soleadas. Suelos secos, drenados. <b>Floración:</b> primavera; flores de color variable, blanco a púrpura oscuro.</p>
	<p><i>Teucrium x lucidrys</i></p> <p><b>Altura:</b> 20-40 cm. <b>Anchura:</b> 20-80 cm. <b>Porte:</b> subarbustivo; <b>Hojas:</b> perennes. <b>Forma:</b> tallos que emergen anualmente de una base rizomatosa y sufruticosa algo leñosa, forma alfombras densas. <b>Interés:</b> Crecimiento rápido, vigoroso. Prefiere situaciones soleadas. <b>Floración:</b> primavera; flores de color rosado.</p>



Fig. 7.26: Lantanas

*Lantana montevidensis*

**Altura:** 10-30 cm. **Anchura:** 60-100 cm. **Porte:** arbustivo bajo. **Hojas:** caducas o semiperennes. **Forma:** arbusto de ramas postradas o colgantes, delgadas. **Interés:** Prefiere situaciones soleadas. **Floración:** primavera a otoño; flores rosa a violeta.

(Fuente figuras 7.18, 7.19, 7.20, 7.21, 7.22, 7.23, 7.24, 7.25 y 7.26: Jardinería Mediterráneo III, Catálogo de plantas.)



## 8. ESTUDIO COMPARATIVO

En este apartado, se desarrolla en primer lugar el cálculo de transmitancia térmica de los distintos tipos de cubierta ajardinada, para estudiar su comportamiento energético.

Además se va a obtener el cálculo de otros tipos de cubiertas comúnmente usadas en esta zona, como son la cubierta plana invertida no transitable con acabado de grava, y la cubierta plana invertida transitable de pavimento adherido. Una vez obtenidos los cálculos se realiza una comparativa para analizar los resultados.

Previo a los cálculos, se debe tener en cuenta, en cuanto el ahorro energético y el aislamiento térmico de la envolvente de las edificaciones. Por ello los cálculos que a continuación se desarrollan, se van a basar y comparar con los valores que marca el CTE en su Documento Básico de Ahorro de Energía, que delimitan la transmitancia térmica de los elementos de la envolvente de los edificios.

En primer lugar de forma genérica, el documento recoge en su parte 1 en la tabla 2.3, un valor máximo de la transmitancia térmica en cubiertas, en  $0.65 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , el cual no puede ser superado. Por otro lado, según la clasificación en función de la zona climática, Alicante está clasificado como zona B4, y en función de esta clasificación, en el apéndice D.2.8 del documento, se limita la transmitancia térmica en cubiertas a un máximo de  $0.45 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . Sin embargo, en el apéndice E.2 del documento, que propone un valor recomendado de los parámetros de la envolvente térmica, fija el valor de la transmitancia térmica en cubiertas en un  $0.33 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  para la zona climática B, en la cual se encuentra Alicante.

Por ser el valor más bajo y más restrictivo, y por ello el que más limita la transmitancia térmica de la cubierta, y que cumple sobradamente los valores anteriores, se toma como valor principal para basar y comparar los cálculos que a continuación se desarrollan, el valor límite de la transmitancia térmica en cubiertas de  $0.33 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ .

Por otro lado, se recogen las fórmulas que van a ser de aplicación en los cálculos para cualquier tipo de cubierta, las cuales se agrupan en la tabla 8.1.

Resistencia térmica	$R \text{ (m}^2\cdot\text{K/W)} = \frac{e \text{ (m)}}{\lambda \text{ (W/m}\cdot\text{K)}}$ <p>e: Espesor de la capa  <math>\lambda</math>: Conductividad térmica de cada material</p>
Resistencia térmica total:	$R_t = R_{si} + R_n + R_{se}$ <p>-Resistencia térmica superficial del aire interior: <math>R_{si} = 0.10 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}</math>          -Resistencia térmica superficial del aire exterior: <math>R_{se} = 0.04 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}</math></p>
Resistencia nominal	$R_n = R_1 + R_2 + \dots$ <p>-Suma de la resistencia térmica de todos los materiales que componen la cubierta)</p>
Transmitancia térmica	$U \text{ (W/m}^2\cdot\text{K)} = \frac{1}{R_t \text{ (m}^2\cdot\frac{\text{K}}{\text{W}})}$ <p>-Es la inversa de la resistencia térmica</p>

Tabla 8.1: Tabla de fórmulas

(Fuente: Elaboración propia)

## **8.1. CÁLCULO DE LA TRANSMITANCIA TÉRMICA DE DINTINTOS TIPOS DE CUBIERTAS VEGETALES, CON DIFERENTES ESPESORES DE SUSTRATOS Y TIPOS DE PLANTAS**

La transmitancia térmica de las cubiertas verdes mejora la inercia térmica y el comportamiento energético de las cubiertas. Y esta inercia térmica controla los flujos de calor que circulan a través de la cubierta para mantener una buena temperatura interior en las edificaciones, sobre todo en verano. Debido a la gran demanda de energía para el uso de aires acondicionados, que hay en verano en la provincia de Alicante, y a la capacidad de estas cubiertas de mejorar el comportamiento energético y reducir la demanda energética, se decide hacer el cálculo de la transmitancia térmica de las cubiertas verdes.

Se realiza el cálculo de la transmitancia térmica de todos los tipos de cubiertas ajardinadas: extensiva, semiintensiva e intensiva. Aunque este último tipo de cubierta no ha sido propuesto por su elevado peso y porque la vegetación común de la zona de estudio, aplicable a las cubiertas verdes no precisa un gran espesor de

sustrato, nos sirven para hacer la comparación con las otras cubiertas vegetales y obtener algunas conclusiones.

Para ello , se realiza un cálculo de la transmitancia térmica de las diferentes cubiertas verdes, con diferentes espesores de sustrato. Puesto que algunos espesores de sustrato son comunes en los tres tipos de cubiertas, se toman diferentes valores de espesor, comunes o no entre los distintos tipos de cubiertas, para analizar los resultados obtenidos. Además se añade una variante de la cubierta semiintensiva sin capa de aislamiento para analizar la necesidad o no de dicha capa en este tipo de cubiertas.

El cálculo se realiza sobre una cubierta con las características y capas que se observan en la figura 8.1 , y que se muestra a continuación:

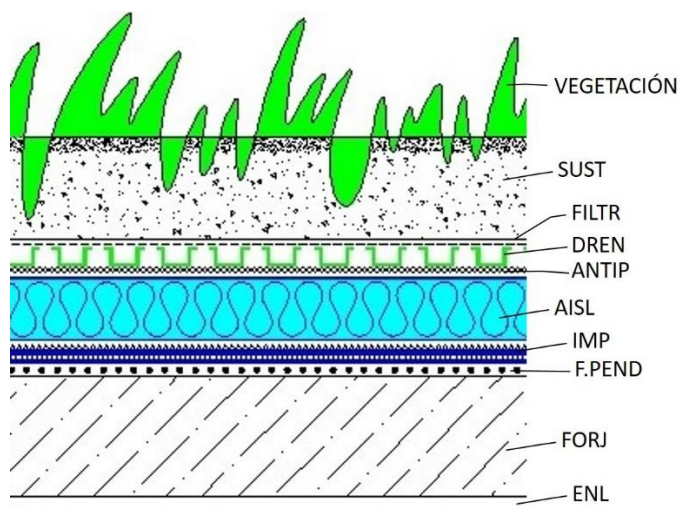


Fig. 8.1: Sección capas de formación cubierta vegetal

(Fuente: Elaboración propia)

Estas capas junto a los espesores que se van a emplear para los cálculos, que a continuación se van a desarrollar de cada tipo de cubierta verde, se recogen en la tabla 8.2.

Los datos de conductividad térmica, espesores y pesos de los materiales, que se presentan en las tablas siguientes y que son empleados para los cálculos que se desarrollan a continuación, se obtienen del documento reconocido DRD 07/11,

Catálogo de Soluciones Constructivas de Rehabilitación de 2011 y del Catálogo de Elementos Constructivos del CTE.

Identificación	Leyenda	Espesor (mm)		
		EXT	SEMI-INT	INT
SUST	Sustrato compuesto de materia orgánica e inorgánica	100	100	
		150	150	150
		200	200	200
		250	250	250
			300	300
			350	350
				650
FILT	Capa filtrante (GEOTEXTIL) $m \geq 200 \text{ Kg/m}^2$	1		
DREN	Capa drenante (lámina EPDM)	25		
ANTIP	Capa antipunzonante (GEOTEXTIL) $m \geq 300 \text{ Kg/m}^2$	1		
AISL	Aislamiento térmico (XPS)	30		
IMP	Capa de impermeabilización formada por dos láminas bituminosas, la última de ellas con tratamiento anti-raíces.	5		
F.PEND	Capa de formación de pendientes a base de hormigón celular de aire ocluido.	100		
FORJ	Forjado unidireccional entrevigado de hormigón 300 mm	300		
ENL	Enlucido de yeso	15		

Tabla 8.2: Capas y espesores de cálculo de cubiertas verdes

(Fuente: Elaboración propia)

Además, antes de realizar los cálculos se han de tener en cuenta algunos datos previos.

Por un lado, se toma como dato de masa (de sustrato, vegetación, capa drenante y filtrante) para los cálculos en las siguientes tablas, el mayor valor de cada uno de los tipos de cubiertas, anteriormente expuestos en las características de las cubiertas verdes, tomando la carga más desfavorable en cada caso. En cubiertas extensivas son  $180 \text{ kg/m}^2$ ; en semiintensivas son  $350 \text{ kg/m}^2$ ; y para intensivas,  $600 \text{ kg/m}^2$ .

Por otro lado, el valor de la conductividad térmica ( $\lambda = 0.012 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ) que se toma para los cálculos de la transmitancia térmica del sustrato, ha sido obtenida de un estudio sobre el cálculo de la conductividad térmica equivalente en la cubierta ecológica, realizado por María V. Machado, Calina Britto y Javier Neila en 2004, donde a través de modelos experimentales y de cálculos analíticos, se obtuvo el

valor de la conductividad térmica del sustrato con una cobertura vegetal, en una cubierta ajardinada.

También se reúnen en la tabla 8.3, una serie de cálculos de datos fijos que van a ser empleados en los cálculos de los tres tipos de cubiertas vegetales. Se trata de la resistencia térmica de algunas de las capas de formación.

IDENTIFICACIÓN	ESPEJOR (mm)	$\lambda$ (W/m·K)	R (m <sup>2</sup> ·K/W)
FILT	1	0	0
DREN	25	0.25	0.10
ANTIP	1	0	0
AISL	30	0.036	0.83
IMP	5	0	0
H.CEL	100	0.68	0.15
FORJ	300	-	0.21
ENL	15	0.4	0.04

Tabla 8.3: Cálculo de datos fijos de cubiertas verdes

(Fuente: Elaboración propia)

### 8.1.1. CUBIERTA EXTENSIVA

La siguiente tabla agrupa los datos de espesores, masa, conductividad térmica y la transmitancia térmica de cada capa de formación de la cubierta extensiva. Por otro lado, sirve para recoger los cálculos de datos fijos realizados en la tabla anterior y los cálculos que a continuación se realizan, que son los valores marcados en negrita.

IDEN.	ESPESOR (mm)		MASA (kg/m <sup>2</sup> )		$\lambda$ (W/m·K)	R (m <sup>2</sup> ·K/W)		U (W/m <sup>2</sup> ·K)
SUST	100	<b>577</b>	180	<b>733</b>	0.12	<b>0.83</b>	<b>2.30</b>	<b>0.44</b>
	150	<b>627</b>				<b>1.25</b>	<b>2.72</b>	
	200	<b>677</b>				<b>1.67</b>	<b>3.14</b>	
	250	<b>727</b>				<b>2.08</b>	<b>3.55</b>	
FILT	1				0	0		
DREN	25				0.25	0.10		
ANTIP	1		0		0	0		
AISL	30		0		0.036	0.83		
IMP	5		7		0	0		
H.CEL	100		160		0.68	0.15		
FORJ	300		372		-	0.21		
ENL	15		14		0.4	0.04		

Tabla 8.4: Cálculo transmitancia térmica cubiertas extensivas

(Fuente: Elaboración propia)

A continuación se presentan los cálculos realizados para los distintos espesores de sustrato según la tabla 8.4.

En primer lugar se obtiene la resistencia térmica del sustrato, para cada espesor.

**Para e = 100 mm;**  $\lambda = 0.12 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ;  $R = 0.10/0.12 = 0.83 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$

**Para e = 150 mm;**  $\lambda = 0.12 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ;  $R = 0.15/0.12 = 1.25 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$

**Para e = 200 mm;**  $\lambda = 0.12 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ;  $R = 0.20/0.12 = 1.67 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$

**Para e = 250 mm;**  $\lambda = 0.12 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ;  $R = 0.25/0.12 = 2.08 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$

Luego se calcula la resistencia térmica total del conjunto que forma la cubierta, según cada espesor de sustrato, donde además se tiene en cuenta la resistencia del aire exterior e interior.

$$R_t = R_{si} + R_n + R_{se}$$

**Para e = 100 mm;**  $R_t = 0.1+0.04+0.21+0.15+0.83+0.1+0.83+0.04 = 2.30 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$

**Para e = 150 mm;**  $R_t = 0.1+0.04+0.21+0.15+0.83+0.1+1.25+0.04 = 2.72 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

**Para e = 200 mm;**  $R_t = 0.1+0.04+0.21+0.15+0.83+0.1+1.67+0.04 = 3.14 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

**Para e = 250 mm;**  $R_t = 0.1+0.04+0.21+0.15+0.83+0.1+2.08+0.04 = 3.55 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

Por último se obtiene el valor de la transmitancia térmica de la cubierta, para cada espesor variable de sustrato. Ésta es la inversa de la resistencia térmica total.

**Para e = 100 mm;**  $U = 1/2.30 = 0.44 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$

**Para e = 150 mm;**  $U = 1/2.72 = 0.37 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$

**Para e = 200 mm;**  $U = 1/3.14 = 0.32 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$

**Para e = 250 mm;**  $U = 1/3.55 = 0.28 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$

### Análisis de los resultados

Analizando los valores obtenidos de la transmitancia térmica en las cubiertas de tipo extensivas, con los diferentes espesores de sustrato, se observa que con el espesor más bajo calculado, que son 10 cm, no se cumple el valor límite de  $0.33 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ , que el CTE-DB-HE1 propone y que se ha tomado como valor máximo para hacer la comparación.

Conforme aumenta el espesor del sustrato, va disminuyendo el valor de la transmitancia, como se observa en los siguientes espesores calculados: para el espesor de 15 cm la transmitancia disminuye a  $0.37 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ , pero sigue sin estar por debajo del límite de  $0.33 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ . Sin embargo con 20 cm de espesor, la transmitancia térmica es  $0.32 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$  y este valor ya se encuentra dentro del límite establecido. Con el máximo espesor calculado de 25 cm, la transmitancia llega a  $0.28 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ , que son  $0.05 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$  menos que el límite en el que se basan los cálculos.

Con lo cual, para tener la mayor inercia térmica posible, y con ello se consiga mejorar el comportamiento energético de la envolvente, se debe optar por un espesor de 25 cm, para cubiertas extensivas, que ostenta el mínimo valor de transmitancia térmica calculado.

### 8.1.2. CUBIERTA SEMIINTENSIVA

La siguiente tabla agrupa los datos de espesores, masa, conductividad térmica y la transmitancia térmica de cada capa de formación de la cubierta semiintensiva. Por otro lado, sirve para recoger los cálculos de datos fijos realizados en la tabla anterior y los cálculos que a continuación se realizan, que son los valores marcados en negrita.

IDEN.	ESPESOR (mm)		MASA (kg/m <sup>2</sup> )		$\lambda$ (W/m·K)	R (m <sup>2</sup> ·K/W)		U (W/m <sup>2</sup> ·K)
SUST	100	<b>577</b>	350	<b>903</b>	0.12	<b>0.83</b>	<b>2.30</b>	<b>0.44</b>
	150	<b>627</b>				<b>1.25</b>	<b>2.72</b>	
	200	<b>677</b>				<b>1.67</b>	<b>3.14</b>	
	250	<b>727</b>				<b>2.08</b>	<b>3.55</b>	
	300	<b>777</b>				<b>2.50</b>	<b>3.97</b>	
	350	<b>827</b>				<b>2.92</b>	<b>4.39</b>	
FILT	1				0	0		
DREN	25				0.25	0.1		
ANTIP	1		0		0	0		
AI SL	30		0		0.036	0.83		
IMP	5		7		0	0		
H.CEL	100		160		0.68	0.15		
FORJ	300		372		-	0.21		
ENL	15		14		0.4	0.04		

Tabla 8.5: Cálculo transmitancia térmica semiintensivas

(Fuente: Elaboración propia)

A continuación se presentan los cálculos realizados para los distintos espesores de sustrato según la tabla 8.5.

En primer lugar se obtiene la resistencia térmica del sustrato, para cada espesor.

**Para e = 100 mm;** sustrato + vegetación:  $\lambda = 0.12$ ;  $R = 0.10/0.12 = 0.83 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$

**Para e = 150 mm;** sustrato + vegetación:  $\lambda = 0.12$ ;  $R = 0.15/0.12 = 1.25 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$

**Para e = 200 mm;** sustrato + vegetación:  $\lambda = 0.12$ ;  $R = 0.20/0.12 = 1.67 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$

**Para e = 250 mm;** sustrato + vegetación:  $\lambda = 0.12$ ;  $R = 0.25/0.12 = 2.08 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$

**Para e = 300 mm;** sustrato + vegetación:  $\lambda = 0.12$ ;  $R = 0.30/0.12 = 2.50 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$

**Para e = 350 mm;** sustrato + vegetación:  $\lambda = 0.12$ ;  $R = 0.35/0.12 = 2.92 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$



Luego se calcula la resistencia térmica total del conjunto que forma la cubierta, según cada espesor de sustrato, donde además se tiene en cuenta la resistencia del aire exterior e interior.

$$R_t = R_{si} + R_n + R_{se}$$

**Para e = 100 mm;**  $R_t = 0.1+0.04+0.21+0.15+0.83+0.1+0.83+0.04 = 2.30 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

**Para e = 150 mm;**  $R_t = 0.1+0.04+0.21+0.15+0.83+0.1+1.25+0.04 = 2.72 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

**Para e = 200 mm;**  $R_t = 0.1+0.04+0.21+0.15+0.83+0.1+1.67+0.04 = 3.14 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

**Para e = 250 mm;**  $R_t = 0.1+0.04+0.21+0.15+0.83+0.1+2.08+0.04 = 3.55 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

**Para e = 300 mm;**  $R_t = 0.1+0.04+0.21+0.15+0.83+0.1+2.50+0.04 = 3.97 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

**Para e = 350 mm;**  $R_t = 0.1+0.04+0.21+0.15+0.83+0.1+2.92+0.04 = 4.39 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

Por último se obtiene el valor de la transmitancia térmica de la cubierta, para cada espesor de sustrato. Ésta es la inversa de la resistencia térmica total.

**Para e = 100 mm;**  $U = 1/2.30 = 0.44 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$

**Para e = 150 mm;**  $U = 1/2.72 = 0.37 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$

**Para e = 200 mm;**  $U = 1/3.14 = 0.32 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$

**Para e = 250 mm;**  $U = 1/3.55 = 0.28 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$

**Para e = 300 mm;**  $U = 1/3.97 = 0.25 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$

**Para e = 350 mm;**  $U = 1/4.39 = 0.23 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$

### Análisis de los resultados

Al haber tomado los mismos valores de espesor entre cubierta extensiva y semiintensiva se obtiene los mismos valores de transmitancia, ya que los cálculos dependen del espesor en cada caso. Pero en las cubiertas semiintensivas se tiene un mayor rango de espesores.

Se observa que con el espesor más bajo calculado, que son 10 cm, no se cumple el valor límite de  $0.33 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ , que el CTE-DB-HE1 propone y que se ha tomado como valor máximo para hacer la comparación.

Conforme aumenta el espesor del sustrato, va disminuyendo el valor de la transmitancia, como se observa en los siguientes espesores calculados: para el

espesor de 15 cm la transmitancia disminuye a  $0.37 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , pero sigue sin estar por debajo del límite de  $0.33 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ .

Sin embargo con 20 cm de espesor, la transmitancia térmica es  $0.32 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  y este valor ya se encuentra dentro del límite establecido. Con el espesor de 25 cm, la transmitancia llega a  $0.28 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , que son  $0.05 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  menos que el límite en el que se basan los cálculos. Y a partir de este espesor la transmitancia va disminuyendo favorablemente: con 30 cm de espesor de sustrato se obtienen  $0.25 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , y con un sustrato de 35 cm la transmitancia llega a  $0.23 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ .

Con el último espesor de sustrato calculado se obtiene una transmitancia menor en  $0.10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , que el valor en el que se basan los cálculos ( $0.33 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ).

Ocurre lo mismo que en la cubierta extensiva: para conseguir una disminución importante de la transmitancia térmica, y con ello conseguir mejorar la inercia térmica de la cubierta, se deben elegir espesores de sustrato a partir de 25 cm.

Pero, para tener la mayor inercia térmica posible, y con ello se consiga mejorar lo máximo posible el comportamiento energético de la cubierta, los espesores de 30 y 35 cm, para cubiertas semiintensivas, ostentan los mínimo valores de transmitancia térmica calculado, que son  $0.25$  y  $0.23 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , respectivamente.

### 8.1.3. CUBIERTA SEMI-INTENSIVA (Sin capa de aislamiento térmico)

En este punto de desarrollan los mismos cálculos con los mismos datos que en el punto anterior de cubiertas semiintensivas, pero sin capa de aislamiento, para estudiar el comportamiento de esta cubierta sin dicha capa y comprobar si es precisa.

La siguiente tabla agrupa los datos de espesores, masa, conductividad térmica y la transmitancia térmica de cada capa de formación de la cubierta semiintensiva. Por otro lado, sirve para recoger los cálculos de datos fijos realizados en la tabla anterior y los cálculos que a continuación se realizan, que son los valores marcados en negrita.

IDEN.	ESPESOR (mm)		MASA (kg/m <sup>2</sup> )		$\lambda$ (W/m·K)	R (m <sup>2</sup> ·K/W)		U (W/m <sup>2</sup> ·K)
SUST	100	<b>547</b>	350	<b>903</b>	0.12	<b>0.83</b>	<b>1.47</b>	<b>0.68</b>
	150	<b>597</b>				<b>1.25</b>	<b>1.89</b>	<b>0.53</b>
	200	<b>647</b>				<b>1.67</b>	<b>2.31</b>	<b>0.43</b>
	250	<b>697</b>				<b>2.08</b>	<b>2.72</b>	<b>0.37</b>
	300	<b>747</b>				<b>2.50</b>	<b>3.14</b>	<b>0.32</b>
	350	<b>797</b>				<b>2.92</b>	<b>3.56</b>	<b>0.28</b>
FILT	1				0	0		
DREN	25				0.25	0.1		
ANTIP	1		0		0	0		
IMP	5		7		0	0		
H.CEL	100		160		0.68	0.15		
FORJ	300		372		-	0.21		
ENL	15		14		0.4	0.04		

Tabla 8.6: Cálculo transmitancia térmica semiintensivas, sin capa aislante.

(Fuente: Elaboración propia)

A continuación se presentan los cálculos realizados para los distintos espesores de sustrato según la tabla 8.6.

En primer lugar se obtiene la resistencia térmica del sustrato, para cada espesor.

**Para e = 100 mm;** sustrato + vegetación:  $\lambda = 0.12$ ;  $R = 0.10/0.12 = 0.83 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

**Para e = 150 mm;** sustrato + vegetación:  $\lambda = 0.12$ ;  $R = 0.15/0.12 = 1.25 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

**Para e = 200 mm;** sustrato + vegetación:  $\lambda = 0.12$ ;  $R = 0.20/0.12 = 1.67 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

**Para e = 250 mm;** sustrato + vegetación:  $\lambda = 0.12$ ;  $R = 0.25/0.12 = 2.08 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

**Para e = 300 mm;** sustrato + vegetación:  $\lambda = 0.12$ ;  $R = 0.30/0.12 = 2.50 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

**Para e = 350 mm;** sustrato + vegetación:  $\lambda = 0.12$ ;  $R = 0.35/0.12 = 2.92 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

Luego se calcula la resistencia térmica total del conjunto que forma la cubierta, según cada espesor de sustrato, donde además se tiene en cuenta la resistencia del aire exterior e interior.

$$R_t = R_{si} + R_n + R_{se}$$

**Para e = 100 mm;**  $R_t = 0.1+0.04+0.21+0.15+0.1+0.83+0.04 = 1.47 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

**Para e = 150 mm;**  $R_t = 0.1+0.04+0.21+0.15+0.1+1.25+0.04 = 1.89 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

**Para e = 200 mm;**  $R_t = 0.1+0.04+0.21+0.15+0.1+1.67+0.04 = 2.31 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

**Para e = 250 mm;**  $R_t = 0.1+0.04+0.21+0.15+0.1+2.08+0.04 = 2.72 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

**Para e = 300 mm;**  $R_t = 0.1+0.04+0.21+0.15+0.1+2.50+0.04 = 3.14 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

**Para e = 350 mm;**  $R_t = 0.1+0.04+0.21+0.15+0.1+2.92+0.04 = 3.56 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

Por último se obtiene el valor de la transmitancia térmica de la cubierta, para cada espesor de sustrato. Ésta es la inversa de la resistencia térmica total.

**Para e = 100 mm;**  $U = 1/1.47 = 0.68 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$

**Para e = 150 mm;**  $U = 1/1.89 = 0.53 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$

**Para e = 200 mm;**  $U = 1/2.31 = 0.43 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$

**Para e = 250 mm;**  $U = 1/2.72 = 0.37 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$

**Para e = 300 mm;**  $U = 1/3.14 = 0.32 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$

**Para e = 350 mm;**  $U = 1/3.56 = 0.28 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$

### Análisis de los resultados

Se decide calcular la cubierta de tipo semiintensiva pero en este caso sin aislamiento térmico, para observar a partir de qué valor del espesor de sustrato, la cubierta cumple con la transmitancia mínima exigida por el CTE-HE-1.

Los resultados arrojan que con un espesor de 10 cm, la cubierta no cumple ni siquiera el valor mínimo exigido en general de  $0.65 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ . Con 15 cm, ocurre que sí que cumple el primer valor mínimo que propone el documento pero no el segundo valor mínimo para cubiertas según la zona climática de  $0.45 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ . Sin

embargo, la transmitancia del espesor de sustrato de 20 y 25 cm, está dentro de estos dos valores mínimos pero todavía se encuentra muy por encima del valor de  $0.33 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  tomado como dato máximo de base.

En cambio es a partir de un espesor de 30 cm, con una transmitancia de  $0.32 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , cuando los valores se encuentran por debajo de la máxima transmitancia establecida. A partir de este espesor, la transmitancia disminuye otorgando mejoras de su comportamiento térmico. Con 35 cm de espesor de sustrato el valor de transmitancia térmica desciende hasta  $0.28 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , con  $0.05 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  menos que el valor base de  $0.33 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ .

Pero como reflejan los datos obtenidos en el cálculo de las cubiertas semiintensivas con capa de aislamiento, se reduce bastante más la transmitancia térmica de este tipo de cubiertas colocando una mínima capa de aislamiento. Además esta capa protege a la cubierta de posibles puentes térmicos que se pueden generar en ocasiones, cuando llueve y el sustrato se empapa, el sustrato mojado aumenta o disminuye su temperatura y lo transmite a las capas inferiores.

Por lo tanto, para la zona climática estudiada, es mejor opción una capa mínima de aislamiento térmico en las cubiertas de tipo semiintensivo para mejorar la inercia térmica y para evitar posibles puentes térmicos.

### 8.1.4. CUBIERTA INTENSIVA

De este tipo de cubiertas cabe destacar que, aunque su rango oscila desde 15 cm hasta 2 m o más, lo más habitual es utilizar espesores de sustrato a partir de 60 cm. Este importante espesor de sustrato genera sobre la cubierta una gran masa térmica que proporciona un buen aislamiento y no permite que se produzcan puentes térmicos. Es por ello que las cubiertas de tipo intensivo suelen ir desprovistas de capa de aislamiento térmico. Y es sin esta capa como se van a desarrollar los siguientes cálculos.

La siguiente tabla agrupa los datos de espesores, masa, conductividad térmica y la transmitancia térmica de cada capa de formación de la cubierta intensiva. Por otro lado, sirve para recoger los cálculos de datos fijos realizados en la tabla anterior y los cálculos que a continuación se realizan, que son los valores marcados en negrita.

IDEN.	ESPESOR (mm)		MASA (kg/m <sup>2</sup> )		$\lambda$ (W/m·K)	R (m <sup>2</sup> ·K/W)		U (W/m <sup>2</sup> ·K)
SUST	150	<b>597</b>	600	<b>1153</b>	0.12	<b>1.25</b>	<b>1.89</b>	<b>0.53</b>
	200	<b>647</b>				<b>1.67</b>	<b>2.31</b>	<b>0.43</b>
	250	<b>697</b>				<b>2.08</b>	<b>2.72</b>	<b>0.37</b>
	300	<b>747</b>				<b>2.50</b>	<b>3.14</b>	<b>0.32</b>
	350	<b>797</b>				<b>2.92</b>	<b>3.56</b>	<b>0.28</b>
	650	<b>1097</b>				<b>5.42</b>	<b>6.06</b>	<b>0.17</b>
	1000	<b>1447</b>				<b>8.33</b>	<b>8.97</b>	<b>0.11</b>
FILT	1				0	0		
DREN	25				0.25	0.1		
ANTIP	1		0		0	0		
IMP	5		7		0	0		
H.CEL	100		160		0.68	0.15		
FORJ	300		372		-	0.21		
ENL	15		14		0.4	0.04		

Tabla 8.7: Cálculo transmitancia térmica intensivas

(Fuente: Elaboración propia)

A continuación se presentan los cálculos realizados para los distintos espesores de sustrato según la tabla 8.7.

En primer lugar se obtiene la resistencia térmica del sustrato, para cada espesor.

**Para e = 150 mm;** sustrato + vegetación:  $\lambda = 0.12$ ;  $R = 0.15/0.12 = 1.25 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$

**Para e = 200 mm;** sustrato + vegetación:  $\lambda = 0.12$ ;  $R = 0.20/0.12 = 1.67 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

**Para e = 250 mm;** sustrato + vegetación:  $\lambda = 0.12$ ;  $R = 0.25/0.12 = 2.08 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

**Para e = 300 mm;** sustrato + vegetación:  $\lambda = 0.12$ ;  $R = 0.30/0.12 = 2.50 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

**Para e = 350 mm;** sustrato + vegetación:  $\lambda = 0.12$ ;  $R = 0.35/0.12 = 2.92 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

**Para e = 650 mm;** sustrato + vegetación:  $\lambda = 0.12$ ;  $R = 0.35/0.12 = 5.42 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

**Para e = 1000 mm;** sustrato + vegetación:  $\lambda = 0.12$ ;  $R = 0.35/0.12 = 8.33 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

Luego se calcula la resistencia térmica total del conjunto que forma la cubierta, según cada espesor de sustrato, donde además se tiene en cuenta la resistencia del aire exterior e interior.

$$(R_t = R_{si} + R_n + R_{se})$$

**Para e = 150 mm;**  $R_t = 0.1+0.04+0.21+0.15+0.1+1.25+0.04 = 1.89 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

**Para e = 200 mm;**  $R_t = 0.1+0.04+0.21+0.15+0.1+1.67+0.04 = 2.31 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

**Para e = 250 mm;**  $R_t = 0.1+0.04+0.21+0.15+0.1+2.08+0.04 = 2.72 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

**Para e = 300 mm;**  $R_t = 0.1+0.04+0.21+0.15+0.1+2.50+0.04 = 3.14 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

**Para e = 350 mm;**  $R_t = 0.1+0.04+0.21+0.15+0.1+2.92+0.04 = 3.56 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

**Para e = 650 mm;**  $R_t = 0.1+0.04+0.21+0.15+0.1+5.42+0.04 = 6.06 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

**Para e = 1000 mm;**  $R_t = 0.1+0.04+0.21+0.15+0.1+8.33+0.04 = 8.97 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

Por último se obtiene el valor de la transmitancia térmica de la cubierta, para cada espesor de sustrato. Ésta es la inversa de la resistencia térmica total.

**Para e = 150 mm;**  $U = 1/1.89 = 0.53 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$

**Para e = 200 mm;**  $U = 1/2.31 = 0.43 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$

**Para e = 250 mm;**  $U = 1/2.72 = 0.37 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$

**Para e = 300 mm;**  $U = 1/3.14 = 0.32 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$

**Para e = 350 mm;**  $U = 1/3.56 = 0.28 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$

**Para e = 650 mm;**  $U = 1/6.06 = 0.17 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$

**Para e = 1000 mm;**  $U = 1/8.97 = 0.11 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$

### Análisis de los resultados

En estos cálculos ocurre algo parecido que en las cubiertas semiintensivas sin capa de aislamiento térmico.

Con los espesores más bajos calculados, no se cumple el valor mínimo de transmitancia térmica de  $0.33 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , sobre el que se basan los cálculos, como muestra el cálculo de 15,20 y 25 cm, con unos valores de transmitancia térmica de  $0.53 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ,  $0.43 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  y  $0.37 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , respectivamente.

Es a partir de un espesor de 30 cm cuando la transmitancia de la cubierta se encuentra dentro del límite establecido, con una transmitancia de  $0.32 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . A partir de este espesor, la transmitancia disminuye otorgando mejoras de su comportamiento térmico. Con 35 cm de espesor de sustrato el valor de transmitancia térmica desciende hasta  $0.28 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , con  $0.05 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  menos que el valor base de  $0.33 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ .

Sin embargo los mayores espesores de sustrato calculados proporcionan una gran disminución del valor de la transmitancia térmica. En el caso de 65 cm de sustrato se obtiene una transmitancia de  $0.17 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , y en el caso de 100 cm de sustrato, el valor desciende hasta los  $0.11 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , que es una tercera parte del valor de  $0.33 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  límite establecido.

Entonces, con grandes espesores de sustrato se consigue muy buena inercia térmica, y con ello se mejora eficiencia energética del edificio. Además, cuando se tienen espesores muy grandes de sustrato no se produce el efecto del puente térmico cuando llueve y el sustrato se moja, porque la gran masa de tierra va atenuando la temperatura que llega a capas inferiores.

Por esta razón en cubiertas intensivas lo habitual es emplear espesores de sustrato a partir de 60 cm, sin necesidad de una capa adicional de aislamiento térmico.



Pero para la estructura del edificio este tipo de cubierta supone una gran sobrecarga que debe ser considerada en el cálculo de la estructura, para hacerla más resistente. Esto incrementa de forma importante el coste de la ejecución de la edificación. Por lo tanto supone un gran inconveniente a la hora de realizar este tipo de cubiertas.

### 8.1.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y PROPUESTA DE SELECCIÓN

A continuación, en la tabla 8.8, se muestran los resultados obtenidos en los cálculos de los diferentes tipos de cubierta ajardinada, para hacer una comparación de valores.

TRANSMITANCIA TÉRMICA DE LA CUBIERTA, EN FUNCIÓN DEL ESPESOR DE SUSTRATO, U (W/m <sup>2</sup> ·K)				
Espesor (cm)	TIPO DE CUBIERTA VERDE			
	EXT m = 150 kg/m <sup>2</sup>	SEMI m = 350 kg/m <sup>2</sup>	SEMI (SIN AISL) m = 350 kg/m <sup>2</sup>	INT m = 600 kg/m <sup>2</sup>
10	0.44	0.44	0.68	
15	0.37	0.37	0.53	0.53
20	0.32	0.32	0.43	0.43
25	0.28	0.28	0.37	0.37
30		0.25	0.32	0.32
35		0.23	0.28	0.28
65				0.17
100				0.11

Tabla 8.8: Cuadro comparativo transmitancia térmica cubiertas verdes

(Fuente: Elaboración propia)

La tabla recoge en gris y en verde los valores calculados que se encuentran por debajo del límite que se ha establecido como base para la transmitancia de las cubiertas (0.33 W/m<sup>2</sup>·K).

El color gris abarca los valores calculados sobre cubiertas semiintensivas sin capa de aislamiento, y sobre cubiertas intensivas, que aunque cumplen el mínimo establecido, no son propuestas válidas para el estudio realizado.

En primer lugar las cubiertas semiintensivas sin capa de aislamiento no se proponen porque con estos espesores y sin una capa aislante, son susceptibles a generar puentes térmicos sobre la cubierta del edificio cuando llueve y el sustrato se empapa, el sustrato mojado aumenta o disminuye su temperatura y lo transmite a las capas inferiores, sobre todo con lluvias torrenciales y tormentas, que son fenómenos típicos de la zona climática estudiada.

Por otro lado al comparar las posibles opciones de cubierta semiintensiva, se observa que sin capa de aislamiento térmico y con un espesor de 35 cm de sustrato,

se obtiene la misma transmitancia que con una capa de aislamiento térmico de 3 cm y con un espesor de sustrato de 25 cm, que genera bastante peso menos.

Por lo tanto, para esta zona, es mejor opción una capa mínima de aislamiento térmico en las cubiertas de tipo semiintensivo para mejorar la inercia térmica y para evitar posibles puentes térmicos.

En segundo lugar, con las cubiertas intensivas y con grandes espesores de sustrato se consigue muy buena inercia térmica, y con ello se mejora eficiencia energética del edificio. Además, cuando se tienen espesores muy grandes de sustrato no se produce el efecto del puente térmico cuando llueve y el sustrato se moja, porque la gran masa de tierra va atenuando la temperatura que llega a capas inferiores. Por esta razón en cubiertas intensivas lo habitual es emplear espesores de sustrato a partir de 60 cm, sin necesidad de una capa adicional de aislamiento térmico.

Pero para la estructura del edificio este tipo de cubierta supone una gran sobrecarga que debe ser considerada en el cálculo de la estructura, para hacerla más resistente. Esto incrementa de forma importante el coste de la ejecución de la edificación.

Además la vegetación autóctona de la zona, la cual se implanta sobre las cubiertas verdes, está basada en arbustos y plantas que necesitan unos 20 o 30 cm de sustrato para sobrevivir, no siendo necesario colocar un espesor excesivo que sobrecarga la estructura.

Por estas dos razones no se propone la cubierta intensiva para el estudio.

Por otro lado en color verde, la tabla recoge los valores obtenidos sobre cubiertas extensivas y semiintensivas, y que cumplen con el valor mínimo de  $0.33 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  de transmitancia térmica.

Se opta pues a proponer las cubiertas verdes que tengan el mejor comportamiento energético, tomando aquellas que presenten las menores

transmitancia térmica, dentro de los grupos de cubiertas extensivas y semiintensivas, ya estas cubiertas generan menos peso que las invertidas, y mejores prestaciones que las semiintensivas sin capa de aislamiento. Y además que tengan el espesor suficiente para albergar la vegetación, sin tener una capa excesiva de sustrato, que crea una carga importante para el edificio.

Por un lado, se propone una cubierta extensivas con un espesor de 25 cm que proporciona una transmitancia de  $0.28 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , consiguiendo un valor  $0.05 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  menor que el establecido de  $0.33 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , lo cual mejora considerablemente la inercia térmica y con ello el comportamiento energético que va a tener la cubierta.

Por otra parte, la cubierta semiintensiva al tener un mayor rango de espesores de sustrato tiene más posibilidades de mejora de su inercia térmica. Entonces se propone la opción de un espesor de sustrato de 35 cm en una cubierta semiintensiva, que sin sobrecargar la estructura de la edificación, tiene el valor más bajo de transmitancia de los espesores calculados ( $0.23 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ), valor que es  $0.10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , y que mejora de forma importante el comportamiento térmico de la cubierta.

En resumen, para la zona climática y la vegetación autóctona de la provincia de Alicante, con un clima cálido, las opciones más interesantes a adoptar, en cuanto obtener la mayor inercia térmica de la cubierta, y con ello mejorar la eficiencia energética y disminuir el gasto energético para la climatización del edificio, es una cubierta semiintensiva de 35 cm sustrato, con la vegetación propuesta para cubiertas semiintensivas; y una cubierta extensiva de 25 cm de sustrato con las plantas propuestas para cubiertas extensivas.

## **8.2. CÁLCULO DE LA TRANSMITANCIA TÉRMICA DE OTROS TIPOS DE CUBIERTAS MÁS TRADICIONALES USADOS EN LA PROVINCIA**

A continuación, se realiza el cálculo de la transmitancia térmica de algunos tipos de cubiertas planas utilizados habitualmente en la provincia de Alicante. En este caso se selecciona la cubierta plana invertida no transitable con acabado de grava, y la cubierta plana invertida transitable de pavimento adherido, a tal fin de poder comparar los cálculos con los obtenidos anteriormente sobre cubiertas verdes.

En estos dos casos, el elemento variable que va a condicionar el valor de la transmitancia térmica es el aislamiento; por eso se realizan cálculos con diversos espesores de la capa aislante. En concreto se toman valores de espesor de aislamiento de 50, 60, 70, 1000 mm, para obtener los cálculos de transmitancia térmica de los dos tipos de cubiertas tradicionales a estudiar.

### **8.2.1. CUBIERTA PLANA INVERTIDA NO TRANSITABLE CON ACABADO DE GRAVA**

La siguiente figura representa una sección del elemento sobre el que se desarrollan los cálculos. Se trata de una cubierta plana invertida no transitable con un acabado de 5 cm de grava.

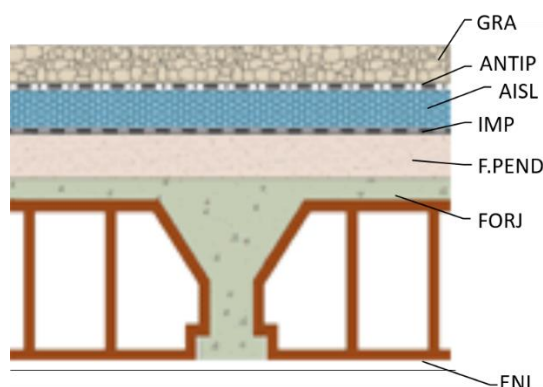


Fig. 8.2: Sección cubierta plana invertida con protección de grava  
(Fuente: Guía técnica para rehabilitación de la envolvente térmica de los edificios.)

Las capas representadas en la figura anterior, junto a los espesores que se van a emplear para los cálculos, que a continuación se van a desarrollar, se recogen en la tabla 8.9.

Los datos de conductividad térmica, espesores y pesos de los materiales, que se presentan en las tablas siguientes y que son empleados para los cálculos que se desarrollan a continuación, se obtienen del documento reconocido DRD 07/11, Catálogo de Soluciones Constructivas de Rehabilitación de 2011 y del Catálogo de Elementos Constructivos del CTE.

Identificación	Leyenda	Espesor (mm)
GRA	Grava de diámetro entre 16 y 32 mm	50
ANTIP	Capa antipunzonante (GEOTEXTIL) $m \geq 300 \text{ Kg/m}^2$	1
AISL	Aislamiento térmico (XPS)	50 60 70 100
IMP	Capa de impermeabilización formada por dos láminas bituminosas, la última de ellas con tratamiento anti-raíces.	5
F.PEND	Capa de formación de pendientes a base de hormigón celular de aire ocluido.	100
FORJ	Forjado unidireccional entrevigado de hormigón 300 mm	300
ENL	Enlucido de yeso	15

Tabla 8.9: Capas y espesores de cálculo de cubiertas de grava  
(Fuente: Elaboración propia)

Además, antes de realizar los cálculos se han de tener en cuenta algunos datos previos. Para ello, se reúnen en la siguiente tabla, una serie de cálculos de datos fijos que van a ser empleados en los cálculos de la cubierta plana invertida de grava. Se trata de la resistencia térmica de algunas de las capas de formación.

También se reúnen en la tabla 8.10, una serie de cálculos de datos fijos que van a ser empleados en los cálculos de cubierta plana invertida con acabado de grava. Se trata de la resistencia térmica de algunas de las capas de formación.

IDENTIFICACIÓN	ESPESOR (mm)	$\lambda$ (W/m·K)	R (m <sup>2</sup> ·K/W)
GRA	50	1.3	0.04
ANTIP	1	0	0
IMP	5	0	0
F.PEND	100	0.68	0.15
FORJ	300	-	0.21
ENL	15	0.4	0.04

Tabla 8.10: Cálculo de datos fijos cubiertas de grava

(Fuente: Elaboración propia)

La siguiente tabla agrupa los datos de espesores, masa, conductividad térmica y la transmitancia térmica de cada capa de formación de la cubierta plana invertida de grava. Por otro lado, sirve para recoger los cálculos de datos fijos realizados en la tabla anterior y los cálculos que a continuación se realizan, que son los valores marcados en negrita.

IDEN.	ESPESOR (mm)		MASA (kg/m²)		λ (W/m·K)	R (m²·K/W)		U (W/ m²·K)
GRA	50	521 531 541 571	100	650	1.3	0.04	1.97 2.25 2.52 3.36	0.51 0.44 0.40 0.29
ANTIP	1		0		0			
AISL	50		0		0.036	1.39		
	60					1.67		
	70					1.94		
	100					2.78		
IMP	5		4		0	0		
H.CEL	100		160		0.68	0.15		
FORJ	300	372	-	0.21				
ENL	15	14	0.4	0.04				

Tabla 8.11: Cálculo de datos cubiertas de grava

(Fuente: Elaboración propia)

A continuación se presentan los cálculos realizados para los distintos espesores de aislamiento según la tabla 8.11.

En primer lugar se obtiene la resistencia térmica del aislamiento, para cada espesor de aislamiento térmico.

**Para e = 50 mm;**  $\lambda = 0.036$ ;  $R = 0.05/0.036 = 1.39 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

**Para e = 60 mm;**  $\lambda = 0.036$ ;  $R = 0.06/0.036 = 1.67 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

**Para e = 70 mm;**  $\lambda = 0.036$ ;  $R = 0.07/0.036 = 1.94 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

**Para  $e = 100 \text{ mm}$ ;  $\lambda = 0.036$ ;  $R = 0.10/0.036 = 2.78 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$**

Luego se calcula la resistencia térmica total del conjunto que forma la cubierta, según cada espesor del aislamiento, donde además se tiene en cuenta la resistencia del aire exterior e interior.

**Para  $e = 50 \text{ mm}$ ;  $R_t = 0.1+0.04+0.21+0.15+1.39+0.04+0.04 = 1.97 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$**

**Para  $e = 60 \text{ mm}$ ;  $R_t = 0.1+0.04+0.21+0.15+1.67+0.04+0.04 = 2.25 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$**

**Para  $e = 70 \text{ mm}$ ;  $R_t = 0.1+0.04+0.21+0.15+1.94+0.04+0.04 = 2.52 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$**

**Para  $e = 100 \text{ mm}$ ;  $R_t = 0.1+0.04+0.21+0.15+2.78+0.04+0.04 = 3.36 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$**

Por último se obtiene el valor de la transmitancia térmica de la cubierta, para cada espesor de capa de aislamiento térmico. Ésta es la inversa de la resistencia térmica total.

**Para  $e = 50 \text{ mm}$ ;  $U = 1/1.97 = 0.51 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$**

**Para  $e = 60 \text{ mm}$ ;  $U = 1/2.25 = 0.44 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$**

**Para  $e = 70 \text{ mm}$ ;  $U = 1/2.52 = 0.40 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$**

**Para  $e = 100 \text{ mm}$ ;  $U = 1/3.36 = 0.29 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$**

### Análisis de los resultados

Tras los cálculos se observa que con unos espesores de aislamiento térmico de 50, 60 o 70 mm ni siquiera se cumple el límite de transmitancia térmica establecido como valor de referencia que es  $0.33 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ . Para conseguir un valor parecido al de las cubiertas verdes seleccionadas anteriormente, el espesor del aislamiento se tiene que aumentar hasta los 100mm, con el que se obtiene una transmitancia térmica de  $0.29 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ .

Pues no interesa un elevado grosor de capa de aislamiento en climas cálidos como el de la provincia de Alicante, ya que en este clima los edificios en verano regulan su temperatura interior de forma natural durante la noche y se mantienen frescos durante el día, dependiendo de la inercia térmica que tengan. El gran grosor



de la capa de aislamiento térmico no permite que se produzca esta regulación, ya que tiene una gran resistencia al paso de temperatura.

### 8.2.2. CUBIERTA INVERTIDA TRANSITABLE CON PAVIMENTO

La siguiente figura representa una sección del elemento sobre el que se desarrollan los cálculos. Se trata de una cubierta plana invertida no transitable de pavimento adherido.

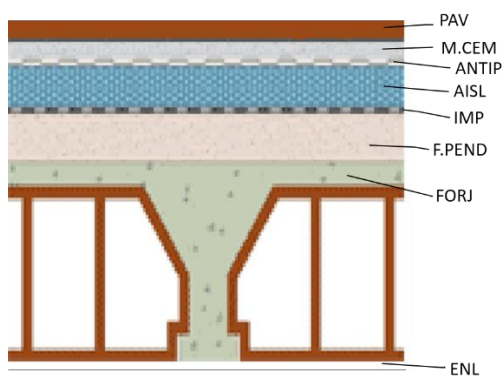


Fig. 8.3: Sección cubierta plana invertida de pavimento

(Fuente: Guía técnica para rehabilitación de la envolvente térmica de los edificios.)

Las capas representadas en la figura anterior, junto a los espesores que se van a emplear para los cálculos, que a continuación se van a desarrollar, se recogen en la tabla 8.12.

Los datos de conductividad térmica, espesores y pesos de los materiales, que se presentan en las tablas siguientes y que son empleados para los cálculos que se desarrollan a continuación, se obtienen del documento reconocido DRD 07/11, Catálogo de Soluciones Constructivas de Rehabilitación de 2011 y del Catálogo de Elementos Constructivos del CTE.

Identificación	Leyenda	Espesor (mm)
PAV	Pavimento exterior de baldosa de espesor 4 cm, de clase 3 según resbaladidad del suelo.	40
M.CEM	Mortero de agarre de cemento, con 30 mm de espesor	30
ANTIP	Capa antipunzonante (GEOTEXTIL) $m \geq 300 \text{ Kg/m}^2$	1
AISL	Aislamiento térmico (XPS)	50 60 70 100
IMP	Capa de impermeabilización formada por dos láminas bituminosas, la última de ellas con tratamiento anti-raíces.	5
F.PEND	Capa de formación de pendientes a base de hormigón celular de aire ocluido.	100
FORJ	Forjado unidireccional entrevigado de hormigón 300 mm	300
ENL	Enlucido de yeso	15

Tabla 8.12: Capas y espesores de cálculo de cubiertas de pavimento

(Fuente: Elaboración propia)

Previamente a realizar los cálculos, se han de tener en cuenta algunos datos. Para ello, se reúnen en la siguiente tabla, una serie de cálculos de datos fijos que van a ser empleados en los cálculos de la cubierta plana invertida de pavimento. Se trata de la resistencia térmica de algunas de las capas de formación.

La tabla que se expone a continuación, es útil para los cálculos de cubiertas con acabado de pavimento.

También se reúnen en la tabla 8.13, una serie de cálculos de datos fijos que van a ser empleados en los cálculos de cubierta plana invertida de pavimento. Se trata de la resistencia térmica de algunas de las capas de formación.

IDENTIFICACIÓN	ESPESOR (mm)	$\lambda$ (W/m·K)	R (m <sup>2</sup> ·K/W)
PAV	40	1.30	0.03
M.CEM	30	1.30	0.02
ANTIP	1	0	0
IMP	5	0	0
F.PEND	100	0.68	0.15
FORJ	300	-	0.21
ENL	15	0.40	0.04

Tabla 8.13: Cálculo de datos fijos cubiertas de pavimento

(Fuente: Elaboración propia)

La siguiente tabla agrupa los datos de espesores, masa, conductividad térmica y la transmitancia térmica de cada capa de formación de la cubierta plana invertida de pavimento. Por otro lado, sirve para recoger los cálculos de datos fijos realizados en la tabla anterior y los cálculos que a continuación se realizan, que son los valores marcados en negrita.

IDEN.	ESPESOR (mm)	MASA (kg/m <sup>2</sup> )	$\lambda$ (W/m·K)	R (m <sup>2</sup> ·K/W)	U (W/ m <sup>2</sup> ·K)
PAV	40	68	1.30	0.03	
M.CEM	30	38	1.30	0.02	
ANTIP	1	0	0	0	
AISL	50	0	0.036	1.39	
	60			1.67	
	70			1.94	
	100			2.78	
IMP	5	4	0	0	
H.CEL	100	160	0.68	0.15	
FORJ	300	372	-	0.21	
ENL	15	14	0.4	0.04	

Tabla 8.14: Cálculo de datos cubiertas de pavimento

(Fuente: Elaboración propia)

A continuación se presentan los cálculos realizados para los distintos espesores de aislamiento según la tabla 8.14.

En primer lugar se obtiene la resistencia térmica del aislamiento, para cada espesor de aislamiento térmico.

**Para e = 50 mm;**  $\lambda = 0.036$ ;  $R = 0.05/0.036 = 1.39 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$

**Para e = 60 mm;**  $\lambda = 0.036$ ;  $R = 0.06/0.036 = 1.67 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$

**Para e = 70 mm;**  $\lambda = 0.036$ ;  $R = 0.07/0.036 = 1.94 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

**Para e = 100 mm;**  $\lambda = 0.036$ ;  $R = 0.10/0.036 = 2.78 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

Luego se calcula la resistencia térmica total del conjunto que forma la cubierta, según cada espesor del aislamiento, donde además se tiene en cuenta la resistencia del aire exterior e interior.

**Para e = 50 mm;**  $R_t = 0.1+0.04+0.21+0.15+1.39+0.02+0.03+0.04 = 1.98 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

**Para e = 60 mm;**  $R_t = 0.1+0.04+0.21+0.15+1.67+0.02+0.03+0.04 = 2.26 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

**Para e = 70 mm;**  $R_t = 0.1+0.04+0.21+0.15+1.94+0.02+0.03+0.04 = 2.53 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

**Para e = 100 mm;**  $R_t = 0.1+0.04+0.21+0.15+2.78+0.02+0.03+0.04 = 3.37 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

Por último se obtiene el valor de la transmitancia térmica de la cubierta, para cada espesor de capa de aislamiento térmico. Ésta es la inversa de la resistencia térmica total.

**Para e = 50 mm;**  $U = 1/1.98 = 0.51 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$

**Para e = 60 mm;**  $U = 1/2.26 = 0.44 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$

**Para e = 70 mm;**  $U = 1/2.53 = 0.40 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$

**Para e = 100 mm;**  $U = 1/3.37 = 0.30 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$

### Análisis de los resultados

Al analizar los datos obtenidos en estos cálculos se obtienen las mismas valoraciones que en el caso anterior de cubierta plana invertida de grava. Tras los cálculos se observa que con unos espesores de aislamiento térmico de 50, 60 o 70 mm ni siquiera se cumple el límite de transmitancia térmica establecido como valor de referencia que es  $0.33 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ . Para conseguir un valor parecido al de las cubiertas verdes seleccionadas anteriormente, el espesor del aislamiento se tiene que aumentar hasta los 100mm, con el que se obtiene una transmitancia térmica de  $0.30 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ .

Pues no interesa un elevado grosor de capa de aislamiento en climas cálidos como el de la provincia de Alicante, ya que en este clima los edificios en verano

regulan su temperatura interior de forma natural durante la noche y se mantienen frescos durante el día, dependiendo de la inercia térmica que tengan. El gran grosor de la capa de aislamiento térmico no permite que se produzca esta regulación, ya que tiene una gran resistencia al paso de temperatura.

### 8.3. COMPARACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación se comparan los resultados de las cubiertas verdes propuestas, con los resultados de cubierta planta invertida de grava y de pavimento, que cumplen el límite de transmitancia térmica establecido de  $0.33 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . Dichos datos se recogen en la tabla 8.15.

TIPO DE CUBIERTA	TRANSMITANCIA TÉRMICA. $U(\text{W/m}^2\cdot\text{K})$
Cubierta verde extensiva con espesor de sustrato de 25 cm, con una capa de aislamiento térmico de 3 cm.	0.28
Cubierta semiintensiva con un espesor de sustrato de 35 cm, con una capa de aislamiento térmico de 3 cm.	0.23
Cubierta plana invertida con acabado de grava, con una capa de aislamiento térmico de 10 cm.	0.29
Cubierta plana invertida de pavimento, con una capa de aislamiento térmico de 10 cm.	0.30

Tabla 8.15: Cuadro comparativo transmitancia térmica cubierta extensiva, semiintensiva, de grava y de pavimento.

(Fuente: Elaboración propia)

Se puede observar que para obtener un valor similar de transmitancia térmica al de las cubiertas verdes propuestas, con una cubierta de grava o una cubierta de pavimento, se deben colocar espesores muy grandes de aislamiento térmico. La gran capa de aislamiento térmico no permite que se generen los flujos de calor necesarios para mejorar el comportamiento energético de los edificios.

Sin embargo las cubiertas verdes propuestas, con una capa de aislamiento térmico de 3 cm de grosor más la capa de sustrato y vegetación, son capaces de conseguir una transmitancia térmica de la cubierta de  $0.28 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , en el caso de las extensivas con un espesor de sustrato de 25 cm, y una transmitancia de  $0.23 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , en el caso de cubiertas semiintensivas son un espesor de 35 cm.

## 9. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

A continuación se resumen los resultados obtenidos sobre las cubiertas verdes propuestas, y se comparan con los valores de referencia de transmitancia térmica que propone el CTE-DB-HE, y que han servido de base para los cálculos.

El valor obtenido de la transmitancia térmica para la cubierta verde extensiva de 25 cm de sustrato es un 57% inferior al valor general establecido para cubiertas, por el CTE-DB-HE de  $0.65 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . Además es un 38% menor al valor establecido por la norma según la zona climática de Alicante, que es de  $0.45 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . Y también es inferior en un 16% aproximadamente, al límite recomendado por el CTE, que es de  $0.33 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ .

La cubierta verde semiintensiva con un espesor de sustrato de 35 cm, tiene una transmitancia térmica de  $0.23 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . Este valor es inferior en un 65% al valor general establecido por el CTE-DB-HE, que es de  $0.65 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ; es inferior en un 49% al valor establecido por la norma según la zona climática de Alicante, que es de  $0.45 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ; y es un 30% menor en comparación con el valor recomendado por el CTE, que es de  $0.33 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ .

Estos valores de transmitancia térmica obtenidos mejoran la inercia térmica y el comportamiento energético del elemento de cubierta.

Por otro lado, para obtener unos valores parecidos de transmitancia térmica a los de cubiertas verdes, en una cubierta plana invertida de grava o en una cubierta plana invertida de pavimento, se hace necesaria una capa de aislamiento térmico de un espesor de 10 cm como mínimo. El elevado grosor de la capa de aislamiento no tiene las mismas prestaciones que el sustrato y la vegetación, y por ello no permite que se generen los flujos de calor necesarios para mejorar el comportamiento energético de los edificios, que en la zona climática de Alicante, en verano regulan su temperatura interior de forma natural durante la noche, y se mantienen frescos durante el día, gracias a la inercia térmica y los flujos de calor generados.

## 10. CONCLUSIONES

El uso de las cubiertas verdes en los edificios de las ciudades genera una gran cantidad de beneficios para el medioambiente, para el propio edificio, para la sociedad y para las zonas urbanas.

El proceso de ejecución de una cubierta verde debe ser meticuloso, sobretodo en la ejecución de la impermeabilización, para evitar filtraciones o vicios que pudieran suceder, y para aumentar la durabilidad de los elementos que forman la cubierta.

Uno de los beneficios más importantes que estas cubiertas tienen sobre el edificio, es la capacidad de atenuar los flujos de calor que atraviesan las cubiertas, así pues estas cubiertas son capaces de regular la temperatura interior de las edificaciones. La inercia térmica que generan, hace que en la zona climática estudiada, las edificaciones se refresquen por la noche, y por el día no se pierda este fresco rápidamente, reduciendo el gasto de energía necesario para climatizar los edificios.

Estas cubiertas se proponen como un elemento de mejora del comportamiento energético, ya que disminuye el gasto de la energía que el edificio necesita para ser climatizado, gracias a su aporte de inercia térmica y a la atenuación de los flujos energéticos que suceden entre el interior y el exterior. Además al disminuir el consumo energético, se disminuye la contaminación que se vierte a la atmósfera.

Para la provincia de Alicante, con un gran gasto energético en épocas de calor, las cubiertas verdes más adecuadas son las extensivas y las semiintensivas. Esto se debe al clima y el tipo de vegetación común de la zona, y a que gracias a la inercia térmica de la cubierta verde, sobre todo en verano, no permite que el calor entre libremente a los edificios, manteniéndolos con el fresco absorbido por la noche, el máximo tiempo posible.

Las especies vegetales recomendadas, basadas en la vegetación autóctona de la zona de Alicante, para las cubiertas verdes extensivas son: aloe maculata, aloe



variegata, aloe mitriformis, aloe x spinosissima, sedum sediforme, sempervivum tectorum, crassula multicava, gasteria, mentha pulegium, melissa officinalis, origanum vulgare, dicentra spectabilis, asparagus densiflorus, lotus cytoides, dianthus plumarius, petunia y verbena. Y para cubiertas semiintensivas, son todas las anteriores y además las siguientes especies: rosmarinus officinalis, santolina chamaecyparissus, helichrysum italicum, salvia lavandulifolia, thymus vulgaris, erica multiflora, teucrium capitatum, teucrium x lucidrys y lantana.

Se hace necesaria una capa mínima de aislamiento térmico en las cubiertas de tipo semiintensivo, para mejorar la inercia térmica y para evitar posibles puentes térmicos. Esta capa protege a la cubierta de posibles puentes térmicos que se pueden generar en ocasiones, cuando llueve y el sustrato se empapa, el sustrato mojado aumenta o disminuye su temperatura y lo transmite a las capas inferiores.

La cubierta extensiva mejora el comportamiento térmico de la cubierta sobre todo a partir de un espesor de 25 cm de sustrato. Con este espesor se obtiene valor de transmitancia térmica un 57% inferior al valor general establecido para cubiertas, por el CTE que es de  $0.65 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ; un 38% menor al valor establecido por la norma según la zona climática de Alicante, que es de  $0.45 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ; y un 16% menor aproximadamente, al límite recomendado por el CTE que es de  $0.33 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ .

Por otra parte, la cubierta verde semiintensiva con un espesor de sustrato de 35 cm, consigue un valor de transmitancia térmica inferior en un 65% al valor general establecido por el CTE para cubiertas, de  $0.65 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ; menor en un 49% al valor establecido por la norma según la zona climática de Alicante, que se establece en  $0.45 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ; y es un 30% menor, en comparación con el valor propuesto como recomendado por el CTE que es de  $0.33 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . Estos valores de transmitancia térmica obtenidos generan la mejora de la inercia térmica y del comportamiento energético del elemento de cubierta.

Para obtener un valor similar de transmitancia térmica al de las cubiertas verdes propuestas, con una cubierta plana invertida con acabado de grava o de pavimento,

se debe colocar un espesor de 10 cm de capa de aislamiento térmico. Esta gran capa de aislamiento térmico no es una buena opción para mejorar la inercia térmica de los edificios, que con el clima cálido de Alicante, en verano se refrigeran naturalmente con la bajada de la temperatura de la noche. La capa de aislamiento térmico tiene un espesor muy elevado y una alta resistencia al paso de temperatura, que no facilitan que se generen los flujos de calor necesarios para mejorar el comportamiento energético de los edificios.

#### FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO:

Este trabajo queda abierto al estudio de la influencia del peso de las cubiertas verdes y su coste, así como la posible aplicación en la rehabilitación de cubiertas.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

- Agrícolas, C. O. D. I. T. (Ed.). (2012). *Normas tecnológicas de jardinería y paisajismo NTJ*. Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Agrícolas y Peritos Agrícolas de Cataluña.
- Agua, E. A. L. (2016). Cubierta plana ajardinada extensiva.
- Agua, E. A. L. (2016). Cubierta plana ajardinada intensiva.
- Agudelo, M., Paola Andrea, Hurtado, M., & María Juliana. (2013). Techos verdes: menos gris, más verde, 1–21.
- Alcazar, S. (2015). Efectos de las cubiertas ajardinadas sobre el microclima urbano en verano. *Tesis Doctoral*.
- Alpuche, M. G., Moreno, H., Ochoa, J. M., & Marincic, I. (2011). Análisis térmico de viviendas económicas en México utilizando techos verdes, 59–67.
- Álvarez, S., & Salmerón, J. M. Catálogo de Elementos Constructivos de CTE. IETCC, 2008.
- Andrés, R., & Gutiérrez, I. (2008). Techos vivos extensivos: Una práctica sostenible por descubrir e investigar en Colombia. Extensive living roofs.
- Barcelona Ayuntamiento. (2015). Guía de azoteas vivas y cubiertas verdes.
- Borso di Carminati Peris, M., Transporte., C. V. C. de I. y, & Edificación., I. V. de la. (n.d.). *QB02: cubierta plana, transitable, invertida, pavimento fijo TT - Cartillas de obra. Serie Pruebas y procedimientos; Cartillas de obra. Serie Pruebas y procedimientos. TA -* (Ed. 2006.). Valencia: Instituto Valenciano de la Edificación.
- Britto Correa, C. (2001). Análisis de la viabilidad y comportamiento Energético de la cubierta ecológica. tesis Doctoral, 1–891.
- Canales Gálvez, M. I. (2014). Efectos del uso de techos y fachadas vegetales en el comportamiento térmico de edificios.
- Carmona, E. B. (2012). Oportunidad de complementar la red verde interior de Vitoria-Gasteiz , a través de las cubiertas de los equipamientos públicos using the roofs of public facility buildings Resumen Palabras clave Keywords, 7–26.
- Carrera, V. (2011). La cubierta ajardinada. Tesis fin de arquitectura.

- Cebolla, R. V., Díaz, P. J., Bélgica, P. B., & Bastante Ceca, M. J. (2014). Eco-design tools to reduce the environmental impact and raising strategies for improvement in the building. Green roof. *18th International Congress on Project Management and Engineering*, (July 2014), 16–18.
- Danosa. (n.d.). Rehabilitación. Soluciones de impermeabilización, aislamiento térmico y acústico.
- Danosa. (2014). Dossier técnico. Cubiertas ajardinadas, 32.
- De la Edificación, C. T. (2006). Documento básico HE Ahorro de energía. *HE1 Limitación de la Demanda Energética*.
- Fernández Cañero, R., & Emilsson, T. (2008). Techados verdes: experiencias del Jardín Botánico de techados de Augustenborg ( Suecia ), y su posible aplicación en la región mediterránea, 76–81.
- Fernando, D., & Redondo, F. (n.d.). Beneficios socio ambientales de las, 15–23.
- Galindo Ortiz, J., & Baigts Castillo, J. L. (2015). Integración de la sostenibilidad a la enseñanza de la arquitectura para mitigar el cambio climático, ejemplo: aplicación de techos verdes en la colonia La Paz , 289–299.
- Garcia, I. (2010). Beneficios de los sistemas de naturación en las edificaciones. *XXXIV Nacional Semana Energia Solar*, 52, 1–5.
- García Valera, P. (2016). Estudio del comportamiento de sustratos para su uso como cubierta ecológica en el Sureste de España.
- Garrido Talavera, L. A. de. (2011). *Sustainable architecture: green in green TT - TA -*. Sant Adrià de Besòs: Instituto Monsa de Ediciones.
- Gavilanes Albán, M. R. (2015). Techos verdes: prácticas de gestión ambiental en áreas urbanas.
- Group, B. P. S., Ib, B., Ambiente, M., & Juncaril, I. (2011). Cubiertas ajardinadas en techados de naves industriales y edificios., 1–7.
- Grupo técnico de techos verdes. (2010). *Recomendaciones técnicas para proyectos de cubiertas vegetales*.
- Gutiérrez, R. A. I. (2008). Techos vivos extensivos: una práctica sostenible por descubrir e investigar en Colombia. *Alarife: Revista de Arquitectura*, (16), 21.
- Hosie Seltzer, V. (2015). Reducción De Contaminación Atmosférica Y Acústica Mediante La Intervención De Arquitectura Existente Utilizando Elementos Vegetales.

- IDAE. (2007). Guía Técnica para la Rehabilitación de la Envolvente Térmica de los Edificios Soluciones con Aislamiento de Lana Mineral.
- INE - Boletín anual de Estadística. (2013). 1. Temperaturas medias, horas de sol y precipitación acuosa por comunidades y observatorios meteorológicos. *Boletín Mensual de Estadística*, 1–6.
- Ibáñez, R. a. (2008). Techos vivos extensivos. *Revista de Arquitectura Alarife*.
- Lafarge. (2013). Country Headline on Two Lines.
- Lario, V. R., & Aparejadores, C. O. De. (n.d.). *Estanqueidad en cubiertas planas*.
- Lazzarin, R. M., Castellotti, F., & Busato, F. (2005). Experimental measurements and numerical modelling of a green roof. *Energy and Buildings*, 37(12), 1260–1267. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.02.001>
- Liu, K., & Baskaran, B. (2003). Thermal performance of green roofs through field evaluation. *Proceedings of the First Annual International Green Roofs Conference: Greening Rooftops for Sustainable Communities.*, 10.
- Machado, M., Brito, C., & Neila, J. (2000). La Cubierta Ecológica como Material de Construcción. *Informes de La Construcción*, 52, 1–15.
- Machado, M., Brito, C., & Neila, J. (2003). ABIO\_2003\_El\_calculo\_de\_la\_conductividad.pdf.
- Minke, G. (2004). *Techos verdes. Planificación, ejecución, consejos prácticos. Editorial Fin de Siglo, Alemania*.
- Molina Blanco, V. J. (2013). Rehabilitación ecológica de cubiertas planas.
- Neila, F. J., Bedoya, C., Acha, C., Olivieri, F., & Barbero, M. (2008). Las cubiertas ecológicas de tercera generación: un nuevo material constructivo, *60*(511), 15–24.
- Osorio Huerta, M. Z. (2013). Analisis comparativo entre especies vegetales tropicales y desérticas utilizadas en azoteas verdes para disminuir la isla calorífica en zonas urbanas.
- Perez, G., Vila, A., Castell, A., & Cabeza, L. F. (2010). Ensayos con arquitectura vegetada: medida experimental de la contribución de las cubiertas y fachadas verdes al ahorro energético en la edificación en España.
- Planificaci, D. E. (n.d.). Sistemas para cubiertas verdes extensivas Oasis verdes en espacios urbanos.

- Rodríguez, A. T., & Gálvez, D. M. (2007). Evaluación del uso de techos verdes en clima templado: caso Ecatepec de Morelos, estado de México, México. *Avances En Energías Renovables Y Medio Ambiente*, 11, 183–190.
- Samangoei, M. (2006). Green spaces in the sky. What role do green roofs play in a Twenty-first century city. Tesis de grado no publicada. Department of Architecture. Oxford Brookes University. Oxford.
- Sánchez-Ostiz Gutiérrez, A. (2007). *Cerramientos de edificios: cubiertas TT -. TA -* (2a. ed.). Madrid: CIE Dossat 2000.
- Serrano Lanzarote, B. (2011). Catálogo de soluciones constructivas para la rehabilitación energética de edificios existentes.
- Suavita, P., & Patricia, A. (2015). Techos verdes utilizados como elementos de regulación de la escorrentía en Bogotá.
- Tarrida Llopis, M. (2010). Aprender sobre las cubiertas verdes urbanas a través del caso augustenborg.
- Tejela Juez, J., Navas Delgado, D., & Machín Hamalainen, C. (2011). *Rehabilitación, mantenimiento y conservación de cubiertas*.
- Ulrich, R. S. (1984). View through a Window May Influence Recovery from Surgery. *Source: Science, New Series*, 224(4647), 420–421. <https://doi.org/10.1126/science.6143402>
- Universidad de Córdoba, Bonterra Ibérica, & Paisajes del Sur. (2015). Optimizando el potencial de techos verdes para la rehabilitación energética de edificios: interacción entre sustratos reciclados, propiedades hídricas y eficiencia energética.
- Valbuena, M. D. R. (2012). Implementación De Un Modelo De Techo Verde Y Su Beneficio Térmico En Un Hogar De Honda, Tolima (Colombia). *Pontificia Universidad Javeriana Facultad De Estudios Ambientales Y Rurales*.
- Valenciana, G. (2007). Jardinería mediterránea. III Catálogo de plantas.
- Vanwalleghem, T., Hayas, A., Peña, A., & Giráldez, J. V. (2015). Análisis de la escorrentía, la percolación y la evaporación en techos verdes usando áridos reciclados como sustrato.
- Vestrella, A. (2015). Green roofs in the Mediterranean area : ecophysiological and agronomic aspects Cubiertas ajardinadas en ambiente mediterráneo :

- Zinco. (2009). Base Solar Energía solar y cubiertas ecológicas ajardinadas Un concepto global ecológico que aprovecha los efectos cubierta – con la base solar de ZinCo.
- Zinco. (2015). Guía técnica de planificación Para cubiertas ajardinadas intensivas con sistemas ZinCo ¡El sistema “Jardín” convertirá las cubiertas de sus sueños en realidad !
- Zinzi, M., & Agnoli, S. (2012). Cool and green roofs. An energy and comfort comparison between passive cooling and mitigation urban heat island techniques for residential buildings in the Mediterranean region. *Energy and Buildings*, 55, 66–76.

## **WEB CONSULTADAS**

[www.aemet.es](http://www.aemet.es) (3/01/2017)

[www.aepaisajistas.org/2017/05/25/mvrdv-skygraden-seoullo-7017/](http://www.aepaisajistas.org/2017/05/25/mvrdv-skygraden-seoullo-7017/) (25/05/2017)

[www.alicanteforestal.es](http://www.alicanteforestal.es) (19/02/2017)

[www.alicantepress.com/not/33323/aire-acondicionado-y-calefaccion-cuales-son-las-temperaturas-mas-adecuadas-/?platform=hootsuite](http://www.alicantepress.com/not/33323/aire-acondicionado-y-calefaccion-cuales-son-las-temperaturas-mas-adecuadas-/?platform=hootsuite) (5/06/2017)

[www.asescuve.org](http://www.asescuve.org) (1/11/2016)

[www.blog.is-arquitectura.es](http://www.blog.is-arquitectura.es) (19/02/2017)

[www.cienladrillos.com](http://www.cienladrillos.com) (20/06/2017)

<http://cnnespanol.cnn.com/2017/05/23/si-esta-ciudad-tuviera-4-de-los-techos-verdes-limpiaria-la-contaminacion-de-los-autos/#0> (25/05/2017)

[www.ecoagricultor.com/catalogo-de-plantas-para-techos-verdes/](http://www.ecoagricultor.com/catalogo-de-plantas-para-techos-verdes/) (6/03/2017)

[www.ecohabitar.org](http://www.ecohabitar.org) (20/12/2016)

[www.europapress.es/comunitat-valenciana/noticia-estudio-revela-cubiertas-verdes-edificios-pueden-reducir-50-consumo-energetico-20140326121807.html](http://www.europapress.es/comunitat-valenciana/noticia-estudio-revela-cubiertas-verdes-edificios-pueden-reducir-50-consumo-energetico-20140326121807.html) (25/05/2017)

[www.five.es](http://www.five.es) (6/03/2017)

[www.groncol.com](http://www.groncol.com) (25/05/2017)

[www.jardinessinfronteras.wordpress.com/2016/12/04/naturacion-decubiertas-techos-y-azoteas-ajardinadas/](http://www.jardinessinfronteras.wordpress.com/2016/12/04/naturacion-decubiertas-techos-y-azoteas-ajardinadas/) (21/02/2017)

[www.meteodata.org](http://www.meteodata.org) (3/01/2017)

[www.palausolucionestecnicas.es](http://www.palausolucionestecnicas.es) (25/05/2017)

[www.podadearbolesypalmeras.com/jardin-mediterraneo.html](http://www.podadearbolesypalmeras.com/jardin-mediterraneo.html) (6/03/2017)

[www.projar.es](http://www.projar.es) (19/02/2017)

[www.sciencemag.org](http://www.sciencemag.org) (20/06/2017)



[www.sempergreen.com/es](http://www.sempergreen.com/es) (19/02/2017)

[www.singulargreen.com](http://www.singulargreen.com) (19/02/2017)

[www.sudsostenible.com/tipos-de-cubiertas-verdes/](http://www.sudsostenible.com/tipos-de-cubiertas-verdes/) (10/11/2016)

[www.tecnovino.com/una-cubierta-ajardinada-la-solucion-perfecta-aislamiento-termico-para-bodegas/](http://www.tecnovino.com/una-cubierta-ajardinada-la-solucion-perfecta-aislamiento-termico-para-bodegas/) (5/04/2017)

[www.urbanarbolismo.es](http://www.urbanarbolismo.es) (14/11/2016)

[www.urbanescape.se](http://www.urbanescape.se) (5/04/2017)

[www.zinco-cubiertas-ecologicas.es](http://www.zinco-cubiertas-ecologicas.es) (25/11/2016)

